

Aus dem Bereich Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

Direktor: Prof. Dr. Bernhard Schick

Dysphagie- Diagnostik:
Evaluation des Schluckaktes mittels Ultraschallsonographie als ergänzendes
Verfahren der Zukunft

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES
2017

vorgelegt von

Laura Sophie Grebe

geb. am 30.06.1989 in Trier

Meinen Eltern und Grosseltern

Inhalt

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
1.1	Deutsche Zusammenfassung.....	1
1.2	Abstract	3
2	EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	6
2.1	Einführung in die Thematik des Schluckens	6
2.2	Definition des Symptoms „Dysphagie“	7
2.3	Der physiologische Schluckakt: Anatomie und Ablauf der Schluckphasen	8
2.3.1	Anatomie der am Schluckakt beteiligten Strukturen.....	8
2.3.1.1	Mundhöhle und Zunge	9
2.3.1.2	Pharynx	10
2.3.1.3	Larynx.....	11
2.3.1.4	Oberer Ösophagussphinkter	11
2.3.2	Die einzelnen Phasen des Schluckaktes	13
2.3.2.1	Orale Phase	13
2.3.2.2	Pharyngeale Phase	14
2.3.2.3	Ösophageale Phase.....	14
2.4	Schluckdiagnostik: die gegenwärtigen Goldstandards.....	15
2.4.1	Die Videofluoroskopie (VFSS).....	16
2.4.2	Die fiberoptisch-endoskopische Evaluation des Schluckens (FEES)...	17
2.5	Neue Wege in der Schluckdiagnostik: die B-Bild-Sonographie	23
2.6	Zielsetzung und Fragestellung der vorliegenden Arbeit	25
3	MATERIAL UND METHODEN	26
3.1	Patientenkollektiv	26
3.2	Durchführung der sonographischen Untersuchung.....	27

3.2.1	Ultraschallgerät	27
3.3	Beurteilung der Schluckvideos	27
3.4	Statistik	28
4	ERGEBNISSE	31
4.1	Untersuchungsablauf	31
4.1.1	Leerschluck	37
4.1.2	Spritzschluck	40
4.1.3	Götterspeise-Schluck	43
4.2	Deskriptive Darstellung grundlegender Daten	45
4.2.1	Patientenkollektiv	45
4.2.2	Darstellbarkeit und Dimensionen anatomischer Strukturen	47
4.2.3	Schluckakte	51
4.3	Einflüsse von Alter, BMI und Geschlecht auf die Darstellbarkeit anatomischer Strukturen	53
4.4	Einflüsse auf die Dimensionen anatomischer Strukturen	57
4.5	Einflüsse von Alter, Geschlecht, BMI und Ösophagusdurchmesser auf die erhobenen Schluckakt-Parameter	59
4.5.1	Unifaktorielle Auswertung	59
4.5.2	Multifaktorielle Auswertung	65
4.6	Erste Schritte in der Darstellung von Pathologien mittels Ultrasonographie im Rahmen der Dysphagie-Diagnostik	69
4.6.1	Morbus Forestier	69
4.6.2	Motoneuron-Erkrankung	71
4.6.3	Ösophagusstenose	74
5	DISKUSSION	76
5.1	Methodik-Diskussion	76
5.1.1	Gelungene Aspekte, Grenzen der Arbeit und potentielle Fehlerquellen	76

5.2	Ergebnis-Diskussion	81
5.2.1	Wertung und Interpretation der anatomischen Darstellbarkeit	81
5.2.2	Beurteilung der Darstellbarkeit des Schluckaktes und seiner Geschwindigkeiten mit Hilfe der Sonographie.....	84
5.2.3	Einflussgrößen auf Geschwindigkeiten	86
5.2.4	Ermittelte Larynxelevationszeiten und Schluckakt-Dauer	87
5.3	Ausblick und Anwendbarkeit der sonographischen Schluckuntersuchung in der Dysphagie-Diagnostik	88
5.4	Überprüfung des Einflusses von Schilddrüsenpathologien auf die sonographische Darstellbarkeit in einer ergänzenden Analyse	89
5.5	Schlussfolgerung	91
6	LITERATURVERZEICHNIS	92
7	DANKSAGUNG/PUBLIKATIONEN.....	98
8	ANHANG.....	100

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
B-Bild	Brightness-Bild
BMI	Body-Mass-Index
B-Mode	Brightness-Mode
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
d	Durchmesser
dB	Dezibel
DEGUM	Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin
ggf.	gegebenenfalls
HNO	Hals-Nasen-Ohren
FEES	Fiberoptic Endoscopic Evaluation of Swallowing (Fiberoptisch-Endoskopische Evaluation des Schluckens)
kg	Kilogramm
M.	Musculus
Max	Maximum
MHz	Mega-Hertz
Min	Minimum
ml	Milliliter
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie, Kernspintomographie
MW	Mittelwert
N.	Nervus
n	Stichprobenanzahl
s	Sekunden
THI	Tissue Harmonic Imaging
OR	OddsRatio
VFSS	Videofluoroscopic Swallowing Study/Videofluoroskopy (Videofluoroskopie)
z.B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hohe Endoskop-Position. Das Endoskop wird über den unteren oder mittleren Nasengang bis in den Bereich des Choanen vorgeschoben um den Nasopharynx zu untersuchen	18
Abbildung 2: Flexible endoskopische Aufsicht in hoher Endoskop-Position mit Blick auf den Nasopharynx.....	18
Abbildung 3: Mittlere Endoskop-Position. Vorschub der Endoskopspitze bis in den Bereich des Oropharynx mit Blick auf Hypopharynx und Larynxebene.....	19
Abbildung 4: Flexible endoskopische Aufsicht auf Hypopharynx und Larynxregion in mittlerer Endoskop-Position	19
Abbildung 5: Tiefe Endoskop-Position. Die Endoskopspitze kann über die Kehlkopfebene hinaus vorgeschoben werden und der Mitbeurteilung des Trachealeingangs dienen	20
Abbildung 6: Flexible endoskopische Aufsicht der Glottisebene mit Blick auf die Stimmbänder und den Trachealeingang in tiefer Endoskop-Position.....	20
Abbildung 7: Leaking Phänomen, flexible endoskopische Aufsicht. Der Speisebolus gleitet unkontrolliert an der Epiglottis vorbei und sammelt sich im Bereich der Glottisebene an mit der Gefahr einer möglichen Aspiration	21
Abbildung 8: White out, flexible endoskopische Ansicht. Abdrängen des Endoskops an die Rachenhinterwand während des pharyngealen Schluckvorganges und damit verbundene Sichteinschränkung.....	22
Abbildung 9: Nasenhaupthöhle. Velumelevation, flexible endoskopische Ansicht. Beurteilung der Abdichtungsfunktion des Nasopharynx in hoher Endoskop-Position.....	22
Abbildung 10: Darstellung des Zungengrundkörpers im Querschnitt	32

Abbildung 11: Darstellung des Zungengrundkörpers im Längsschnitt	33
Abbildung 12: Darstellung der intralaryngealen Strukturen	33
Abbildung 13: Darstellung des rechten ventralen Halses im Querschnitt	34
Abbildung 14: Darstellung der rechten Schilddrüse im Längsschnitt	34
Abbildung 15: Darstellung des linken ventralen Halses im Querschnitt	35
Abbildung 16: Darstellung des linken ventralen Halses im Längsschnitt	35
Abbildung 17: Darstellung des Ösophagusquerschnitts im Bereich des linken ventralen Halses	36
Abbildung 18: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt.....	36
Abbildung 19: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt mit erkennbarer Wandschichtung. Ausgangslage in Ruhe mit relaxierter Ösophaguskulatur.....	37
Abbildung 20: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt. Eintritt des Speichelbolus mit Luft-Artefakten, sichtbare Aufdehnung des Ösophagus unter der Boluspassage.....	38
Abbildung 21: Darstellung des Ösophaguslängsschnitts. Boluspassage im einsehbaren Ösophagusabschnitt	38
Abbildung 22: Darstellung des Ösophaguslängsschnitts. Austritt des Speichelbolus im sonographisch einsehbaren Bereich. Im linken Bildrand erkennt man bereits die erneute Kontraktion des zuvor dilatierten, kranialen Ösophagusabschnitts. ..	39
Abbildung 23: Darstellung des Ösophaguslängsschnitts. Ablaufende Kontraktionswellen nach Boluspassage bei noch erkennbarer Aufdehnung der Ösophaguskulatur.....	39

Abbildung 24: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt nach Rückkehr in ruhige Ausgangslage. Ösophaguskulatur relaxiert.	40
Abbildung 25: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt. Eintritt des Wasserbolus mit Aufdehnung der Speiseröhre bei raschem Hindurchgleiten....	41
Abbildung 26: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt. Durchtritt des Wasserbolus durch den Ösophagus mit erkennbarer Verwirbelung des Wasserschlucks.....	41
Abbildung 27: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt. Austritt des Wasserbolus. Im kranialen Speiseröhrenabschnitt im linken Bildrand ist bereits eine erneute Lumenverkleinerung nach abgeschlossener Passage zu erkennen.	42
Abbildung 28: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt nach vollständiger Entleerung des Wassers.....	42
Abbildung 29: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt. Eintritt der Götterspeise im einsehbaren proximalen Ösophagusabschnitt mit Aufdehnung des Speiseröhrenlumens.	43
Abbildung 30: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt. Durchtritt des Götterspeise-Bolus. Die Beimengung von Luft sorgt für die dorsale Schallverstärkung im Sinne einer hellen Reflexgebung im unteren rechten Bildrand.....	44
Abbildung 31: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt. Austritt des Götterspeise-Bolus im rechten Bildrand.	44
Abbildung 32: Ösophagus Längsschnitt. Kontraktionswellen im Anschluss an die Passage des Götterspeisebolus.	45
Abbildung 33: Vergleich der erhobenen BMI-Werte bei weiblichen und männlichen Probanden..	46

Abbildung 34: Anteil der Beurteilungen „Sonographisch darstellbar“. Auf der x-Achse ist die sonographische Darstellbarkeit in Prozent angegeben, auf der y-Achse sind die entsprechend zu untersuchenden anatomischen Strukturen gelistet.	47
Abbildung 35: Gegenüberstellung der 81 Studienteilnehmer nach dem Geschlecht zur Veranschaulichung, wieviel Prozent der Männer und Frauen mit ihrem Schilddrüsengesamtvolumen innerhalb bzw. außerhalb des definierten Normbereiches lagen.....	49
Abbildung 36: Darstellbare Wandschichten des Ösophagus in Bezug auf die 81 untersuchten Probanden.	50
Abbildung 37: Vergleich der mittleren Dauer der Larynxelation der drei Schluckakte.	52
Abbildung 38: Vergleich der mittleren Schluckgeschwindigkeiten der drei Schluckakte.	53
Abbildung 39: Darstellbarkeit des Sinus piriformis bei männlichen und weiblichen Probanden	54
Abbildung 40: Darstellbarkeit des Sinus piriformis/Hypopharynx bei jüngeren und älteren Probanden.	55
Abbildung 41: Darstellbarkeit des Sinus piriformis bei normal- und übergewichtigen Probanden.	56
Abbildung 42: OddsRatios für statistisch signifikante Einflussfaktoren auf die Darstellbarkeit des Sinus piriformis in der untersuchten Stichprobe.	57
Abbildung 43: Vergleich der mittleren Schluckgeschwindigkeiten der drei Schluckakte zwischen jüngeren und älteren Probanden.	61
Abbildung 44: Vergleich der mittleren Schluckgeschwindigkeiten der drei Schluckakte zwischen männlichen und weiblichen Probanden.....	62

Abbildung 45: Vergleich der mittleren Schluckgeschwindigkeiten der drei Schluckakte zwischen normal- und übergewichtigen Probanden.....	64
Abbildung 46: OddsRatios für statistisch signifikante Einflussfaktoren auf die Chance für eine hohe Schluckgeschwindigkeit beim Spritzschluck.	68
Abbildung 47: OddsRatios für statistisch signifikante Einflussfaktoren auf die Chance für eine hohe Schluckgeschwindigkeit beim Schluckakt 3 (Götterspeise)	68
Abbildung 48: Längsschnitt des zervikalen Ösophagus mit Darstellung eines Osteophyten im Bereich der Halswirbelsäule. Es zeigt sich eine hierdurch hervorgerufene Kompression des anliegenden, relaxierten Ösophagus bei Morbus Forestier. Weiter zeigt sich als Zufallsbefund ein gleichzeitig vorliegender Schilddrüsenknoten, welcher ebenfalls zur Einengung des Speiseröhrenlumens beiträgt.....	70
Abbildung 49: Längsschnitt des zervikalen Ösophagus während des ablaufenden Schluckvorganges. Die Schilddrüse inklusive Schilddrüsenknoten ist im Rahmen des Schluckprozesses nach kranial verlagert. Es zeigen sich eine deutliche Lumeneinengung auf Höhe des Osteophyten sowie eine poststenotische Dilatation des Speiseröhrenlumens.....	70
Abbildung 50: Längsschnitt des zervikalen Ösophagus in Ausgangslage bei einem Patienten mit bekannter Motoneuron-Erkrankung.....	72
Abbildung 51: Längsschnitt des zervikalen Ösophagus unter ablaufender Boluspassage bei einem Patienten mit bekannter Motoneuron-Erkrankung. Die Beimengung von Luft zum Speichel bewirkt eine Artefakt-Bildung mit entsprechendem Reflexmuster beim Hindurchgleiten des Bolus.	72
Abbildung 52: Längsschnitt des zervikalen Ösophagus mit Bolusverhalt unmittelbar nach erfolgtem Schluckvorgang bei einem Patienten mit bekannter Motoneuron-Erkrankung. Bei ausbleibenden Kontraktionswellen während des	

Schluckprozesses verbleibt der Speichelbolus im markierten Ösophagusabschnitt.....	73
Abbildung 53: Längsschnitt des zervikalen Ösophagus mit fortbestehendem Bolusverhalt 2 Sekunden nach Einleitung des Schluckvorganges bei bekannter Motoneuron-Erkrankung.....	73
Abbildung 54: Längsschnitt des zervikalen Ösophagus mit weiterhin fortbestehendem Bolusverhalt 5 Sekunden nach erfolgter Boluspassage im einsehbaren Abschnitt bei bekannter Motoneuron-Erkrankung.....	74
Abbildung 55: Darstellung des zervikalen Ösophagus im Längsschnitt bei einer Patientin mit Ösophagusstenose. Im Bild zeigt sich eine gestörte Ösophaguspassage mit erheblicher prästenotischer Dilatation und Bolusstau..	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Differentialdiagnosen der Dysphagie	8
Tabelle 2: Deskriptive Kenngrößen der erhobenen Parameter zur Größe der Schilddrüse für alle 81 Probanden der Studie.	48
Tabelle 3: Deskriptive Kenngrößen der erhobenen Parameter zur Größe des Zungengrundes und des Ösophagus für alle 81 Probanden der Studie.....	50
Tabelle 4: Deskriptive Kenngrößen der erhobenen Schluckaktparameter für alle 81 Probanden der Studie.....	51
Tabelle 5: Darstellbarkeit des Sinus piriformis bei männlichen und weiblichen Probanden	54
Tabelle 6: Sonographische Darstellbarkeit des Sinus piriformis in Abhängigkeit von Alter und BMI der untersuchten Probanden.....	55

Tabelle 7: Vergleich jüngerer und älterer Probanden hinsichtlich der deskriptiven Kenngrößen für anatomische Strukturen im Halsbereich.	58
Tabelle 8: Vergleich männlicher und weiblicher Probanden hinsichtlich der deskriptiven Kenngrößen für anatomische Strukturen im Halsbereich.	59
Tabelle 9: Vergleich normal- und übergewichtiger Probanden hinsichtlich der deskriptiven Kenngrößen für anatomische Strukturen im Halsbereich.	59
Tabelle 10: Vergleich jüngerer und älterer Probanden hinsichtlich der deskriptiven Kenngrößen für die sonographisch ermittelten Parameter der drei Schluckakte.	61
Tabelle 11: Vergleich männlicher und weiblicher Probanden hinsichtlich der deskriptiven Kenngrößen für die sonographisch ermittelten Parameter der drei Schluckakte.	63
Tabelle 12: Vergleich normal- und übergewichtiger Probanden hinsichtlich der deskriptiven Kenngrößen für die sonographisch ermittelten Parameter der drei Schluckakte.	64
Tabelle 13: Vergleich von Probanden mit einem Ösophagus-Durchmesser bis bzw. über 9 mm hinsichtlich der deskriptiven Kenngrößen für die sonographisch ermittelten Parameter der drei Schluckakte.	65
Tabelle 14: Multifaktorielle Beziehungen von Alter, Geschlecht und BMI zur Geschwindigkeit der drei Schluckakte	67

1 ZUSAMMENFASSUNG

1.1 Deutsche Zusammenfassung

Die Dysphagie ist ein Symptom, welches zahlreiche Ursachen (entzündliche, traumatische, neuro-, myogene, obstruktive und psychische Genese) haben kann.

Eine strukturierte Herangehensweise bei Erkrankungen beinhaltet eine ausführliche Anamnese mit anschließender klinischer und apparativer Diagnostik. Letztere umfasst in der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde eine Spiegeluntersuchung, die derzeitigen Goldstandards „Videofluoroskopie“ und „Fiberoptisch- endoskopische Evaluation des Schluckens (FEES)“ sowie gegebenenfalls die Panendoskopie. Ergänzend werden Computer- und Kernspintomographie eingesetzt.

Die Ultrasonographie, welche kein routinemässiges Verfahren in der Bewertung des Schluckaktes darstellt, findet aktuell als nicht-invasive Untersuchungsmethode erste Aufmerksamkeit in der Schluckdiagnostik, beschränkt sich bislang jedoch hauptsächlich auf oropharyngeale Abschnitte und bedarf einer weiteren Evaluation, welcher sich die vorliegende Arbeit widmet.

81 Patienten ohne eine erkennbare Schluckkrankheit wurden sonographisch untersucht. Von diesen 81 Teilnehmern, deren Alter zwischen 19 und 66 Jahren lag, waren 44 Probanden weiblich und 37 männlich. Das mittlere Alter lag bei $32,1 \pm 13,8$ Jahren. Mit einem BMI von durchschnittlich $25,4 \pm 3,1$ kg/m² waren die männlichen Probanden knapp übergewichtig, die weiblichen mit einem solchen von $22,2 \pm 3,2$ kg/m² normalgewichtig.

Bei allen 81 Probanden konnten jeweils drei Schluckvideos im Bereich des oberen Ösophagusdrittels mit unterschiedlichen Medien (Speichel, Wasser und Götterspeise) angefertigt und ausgewertet werden.

Die sonographischen Bild- und Video-Aufnahmen wurden mit einem Siemens X300-Ultraschallgerät vorgenommen. Die Beurteilung der Schluckvideos erfolgte mit dem

Programm MAGIX VIDEO DELUXE, die statistische Datenauswertung mit dem Statistik-Paket STATISTICA.

Die sonographische Darstellbarkeit von Zungengrund, intralaryngealer Region, Sinus piriformis/Hypopharynx, Schilddrüsen und oberem Ösophagusdrittel wurde jeweils hinsichtlich folgender Einflussgrössen analysiert: Alter (< 25 Jahre, ≥ 25 Jahre) Geschlecht und BMI (normalgewichtig bis einschliesslich 25 kg/m^2 , übergewichtig $> 25 \text{ kg/m}^2$).

Mit einer Treffsicherheit von über 90% gelang die Erfassung nahezu aller genannten Strukturen, insbesondere des zervikalen Ösophagusabschnittes. Der mittlere Durchmesser des Ösophagus belief sich in diesem Bereich auf $0,88 \pm 0,10 \text{ cm}$. Die Längenbestimmung des zervikal einsehbaren Abschnittes der Speiseröhre erbrachte durchschnittliche Messungen von $5,78 \pm 1,66 \text{ cm}$ Länge. Höhere Messdaten im Ösophaguslängsschnitt konnten bei jungen, schlanken und weiblichen Probanden erzielt werden.

Als erschwert erwies sich die Einsehbarkeit des Sinus piriformis/Hypopharynx, welcher sich in 39,5% der Fälle nicht darstellen liess. Ein statistisch signifikanter Unterschied ergab sich für das Geschlecht ($p < 0,022$), das Alter ($p < 0,001$) und den Body-Mass-Index ($p < 0,001$) mit der Schlussfolgerung, dass die Darstellung bei weiblichen, jüngeren und normalgewichtigen Probanden mit grösserer Treffsicherheit gelang.

Für den Leerschluck (Speichel; Schluckakt 1) wurde eine Schluckgeschwindigkeit von $4,60 \text{ cm/s}$ und damit die höchstste Schluckgeschwindigkeit aller Schluckakte ermittelt. Die Durchschnittsgeschwindigkeit des Spritzschlucks (Wasser; Schluckakt 2) lag mit $2,90 \text{ cm/s}$ hinter der des Götterspeiseschlucks (Schluckakt 3) mit $2,99 \text{ cm/s}$. Extrapoliert man die errechneten Geschwindigkeiten auf die Gesamtlänge des Ösophagus mit circa 25 cm , so lag die ösophageale Bolustransitzeit zwischen 5-8 Sekunden. Vergleicht man die mittleren Schluckgeschwindigkeiten der drei Schluckakte untereinander, so finden sich statistisch signifikante Unterschiede

zwischen Schluckakt 1 und 2, 1 und 3 (jeweils $p < 0,001$) sowie zwischen Schluckakt 2 und 3 ($p = 0,040$). Den langsamsten aller Schluckakte stellte der Spritzschluck dar.

Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass die Ultrasonographie eine wertvolle Untersuchungsmöglichkeit des Schluckaktes bedeutet. Sie kann wiederholt ausgeführt werden, ist aufgrund fehlender Strahlenbelastung ein risikoarmes Verfahren und erlaubt darüber hinaus insbesondere eine Beurteilung des oberen Ösophagus und das Erkennen von Pathologien des Schluckaktes.

Weitere sonographische Studien zur Erarbeitung vergleichender Messdaten zwischen Gesunden und Erkrankten müssen folgen.

1.2 Abstract

Dysphagia diagnostics: Evaluation of the swallowing act by using ultrasound as a complementary method of the future

Dysphagia is a symptom which can have different causes: inflammatory, traumatic, neurogenic, myogenic, obstructive and psychological genesis.

A structured approach to disease includes a detailed anamnesis with clinical and instrumental diagnostic. The otolaryngology uses mirror examination, the current gold standards "Videofluoroscopy" (VFSS) and "Fiberoptic-Endoscopic Evaluation of Swallowing (FEES)" as well as panendoscopy. Additionally computed tomography and magnetic resonance imaging can be used.

Ultrasonography, which is not a routine procedure in the assessment of the swallowing act, is currently meant to be a new non-invasive examination method in swallowing diagnostics. Due to the fact that it has been mainly limited to oropharyngeal sections so far, the present study focusses on further evaluation.

81 patients without a recognizable swallowing disease were examined sonographically. Out of these 81 subjects, aged between 19 and 66 years, 44 subjects were female and 37 were male. The mean age was 32.1 ± 13.8 years. With an average BMI of $25.4 \pm 3.1 \text{ kg/m}^2$, the male subjects were slightly overweight, whereas the females had a normal weight of $22.2 \pm 3.2 \text{ kg/m}^2$.

In all 81 subjects we were able to videotape and finally analyse three swallowing acts of the upper esophagus section using different boluses (saliva, liquid and jelly).

The sonographic images and video recordings were taken with a Siemens X300 ultrasound device. For the evaluation of the swallowing videos we used the program MAGIX VIDEO DELUXE, the statistical data were analysed with the statistical package STATISTICA.

The sonomorphological visualization of the involved swallowing anatomical structures like tongue, intralaryngeal region, sinus piriformis/hypopharynx, thyroid gland and upper esophageal section were examined for influences of age (< 25 years old, ≥ 25 years old), gender and BMI (normal weight up to and including 25 kg/m^2 , overweight $> 25 \text{ kg/m}^2$).

With an accuracy of more than 90%, the detection of almost all mentioned structures, especially the cervical esophageal segment, was achieved.

The mean diameter of the esophagus in this part was $0.88 \pm 0.10 \text{ cm}$.

The average length of the visible portion of the cervical esophagus was $5.78 \pm 1.66 \text{ cm}$. Higher measurements in the esophageal longitudinal section could be collected in young, slim and female subjects.

The inspection of the sinus piriformis/hypopharynx, which could not be represented in 39.5% of cases, turned out to be difficult. A statistically significant difference was found for gender ($p < 0.022$), age ($p < 0.001$) and BMI ($p < 0.001$), with the

conclusion of a more successful visualization in female, younger and normal weighted subjects.

For the dry swallow (saliva, swallowing act 1) we determined a swallowing speed of 4.60 cm/s, which was the highest swallowing speed of all swallowing acts. The average speed of the wet swallow (liquid, swallowing act 2; 2.90 cm/s) was slower than the act of swallowing using jelly (swallowing act 3; 2.99 cm/s).

By extrapolating the measurements of the swallowing speeds to the total length of the esophagus with approximately 25 cm, the total bolus transit time was between 5-8 seconds.

Comparing the average swallowing velocities of the three swallowing acts, statistically significant differences were found between swallowing act 1 and 2, 1 and 3 ($p < 0.001$ in both) and between swallowing act 2 and 3 ($p = 0.040$). The slowest of all swallowing acts was the wet swallow.

In conclusion, it can be said that the ultrasonography is a valuable examination method of the swallowing act. It can be used repeatedly, is a low-risk procedure due to low radiation exposure, and furthermore allows the evaluation of the upper esophagus as well as the recognition of pathologies of the swallowing act.

However, further sonographic studies for the development of comparative data between healthy persons and patients must follow.

2 EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

2.1 Einführung in die Thematik des Schluckens

„Die Jugend verschlingt nur, dann sauset sie fort;

Ich liebe zu tafeln am lustigen Ort,

Ich kost' und ich schmecke beim Essen.“

Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832)

Neben dem Grundbedürfnis der Nahrungsaufnahme spielen beim Essen heutzutage mehr denn je auch Genuss und Geselligkeit eine entscheidende Rolle für die Lebensqualität des Menschen.

Der Schluckakt per se entzieht sich zumeist vollständig unserem Bewusstsein, obgleich er bis zu 2000 Mal am Tag ausgeführt wird. Hierbei handelt es sich um einen hochkomplexen, grösstenteils reflektorisch ablaufenden Vorgang, welcher neben Nahrungszerkleinerung und –transport auch der geschmacklichen Aufbereitung dient.

Kommt es zu Einschränkungen in der Funktion des Schluckprozesses, so sprechen wir von „Dysphagie“ - erschwertem Essen (Griechisch: „*dys*“ erschwert, „*phagein*“ Essen).

Mehr als 5 Millionen Menschen weltweit sind von dem Symptom eines gestörten Schluckvorganges betroffen mit nicht zu unterschätzenden Auswirkungen auf das soziale Umfeld, seelische Befinden und die Entwicklung von Folgeerkrankungen. [1, 2]

Die Ursachen für die Funktionsstörung oder gar den Funktionsverlust sind umfassend und vielseitig und können mehrere Fachbereiche der Medizin betreffen.

Zum besseren Verständnis soll nachstehend das Symptom „Dysphagie“ näher definiert und erläutert sowie ein Überblick über die Anatomie und Physiologie des Schluckaktes und die bisherige Schluckdiagnostik gegeben werden.

2.2 Definition des Symptoms „Dysphagie“

Definiert wird die Dysphagie ganz allgemein als Schluckstörung und erfasst zunächst das subjektive Empfinden des Patienten. Schwierigkeiten bestehen beim Schlucken und während des Nahrungstransports. [3] Geht die Schluckstörung mit Schmerzen einher, so spricht man von „Odynophagie“. Im Vergleich zum sogenannten Globusgefühl besteht die Dysphagie nicht nur während der Aufnahme von Getränken oder Speisen, sondern tritt überdies beim Schlucken von Speichel (Leerschluck) auf. Klinisch lassen sich zwei Formen unterscheiden: die oropharyngolaryngeale Dysphagie sowie die ösophageale Dysphagie. [4] Aus der Namensgebung lässt sich schließen, dass alle am Schluckakt beteiligten Strukturen in ihrer Funktion im Einzelnen oder auch in ihrem komplexen Zusammenwirken ursächlich für das Symptom sein können und somit jede Schluckphase betroffen sein kann. Bei der oropharyngolaryngealen Dysphagie bestehen Schwierigkeiten beim „Einschlucken“. Das Schlucken wird verzögert, eventuell sogar gar nicht eingeleitet. Wiederholt kommt es zur Aspiration, nasalen Regurgitation oder auch zum vollständigen Speiseverhalt in der Cavitas oris. Typisch für die ösophageale Dysphagie hingegen ist die sprichwörtliche Wahrnehmung „der Bissen sei einem im Halse stecken geblieben“. [5] Die gestörte Boluspassage im Verlauf der Speiseröhre verursacht Missempfindungen bis hin zu Krämpfen und retrosternalen Schmerzen. Nicht selten wird unverdaute Nahrung regurgitiert.

Je nach Ausprägung und Dauer der Dysphagie können die Folgen schwerwiegend sein. Bartolome [6] beschreibt 2007 neben Malnutrition und Dehydrierung, pulmonale Komplikationen, die lebenswichtige Maßnahmen erforderlich machen können (zum Beispiel (z.B.) parenterale Ernährung oder Atemwegssicherung). Häufig wirkt sich

die Dysphagie nicht nur einschränkend auf die Lebensqualität des Betroffenen aus, sondern kann in sehr seltenen Fällen sogar bis zum Tode führen. [6]

Als fünf wichtigste Übergruppen nennen Schönweiler [4] und Zeuzem [3] Schluckstörungen entzündlicher, traumatischer, neurogener, myogener und obstruktiver Genese, welche in Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt sind.

Aktuell zählen neurologische Krankheitsbilder wie Apoplex, Morbus Parkinson und Demenz zu den führenden Ursachen der Dysphagie. [2]

Tabelle 1: Differentialdiagnosen der Dysphagie

Ursachen	Beispiele
entzündlich	Stomatitis, Glossitis, Tonsillitis, Pharyngitis, Epiglottitis, Thyreoiditis, Abszesse, (Reflux-) Ösophagitis, Ösophagusulkus
traumatisch	Fremdkörper, Verätzungen und Verbrennungen, Schädel-Hirn-Trauma
neurogen	Hirnnervenläsionen (Nervus (N.) trigeminus, N. glossopharyngeus, N. vagus, N. hypoglossus), Morbus Parkinson, Multiple Sklerose, Amyotrophe Lateralsklerose, Apoplexie, Achalasie, Ösophagusspasmus, Kollagenosen
myogen	Muskeldystrophie, Myasthenia gravis, Thyreotoxische Myopathie
obstruktiv	Tumore, Stenosen, Narben, Struma, Spondylosis deformans, Morbus Forestier, akzessorische Halsrippe, Aortenaneurysma
sonstige	Zenker-Divertikel, Medikamente, psychogene Dysphagie (Globusgefühl), postoperativ, post radiationem

2.3 Der physiologische Schluckakt: Anatomie und Ablauf der Schluckphasen

2.3.1 Anatomie der am Schluckakt beteiligten Strukturen

Der menschliche Schluckakt stellt ein hochkomplexes Zusammenspiel willkürlicher sowie reflexgesteuerter Prozesse dar. Seine Funktion besteht im Transport flüssiger und fester Nahrung vom Mund in den Magen. Voraussetzung für seine regelrechte Abfolge sind perfekt aufeinander abgestimmte Abläufe des zentralen Nervensystems einschließlich kortikaler sowie subkortikaler Areale, Hirnstamm und peripherer

Hirnnerven mit der Muskulatur. Insgesamt sind bis zu 50 Muskelpaare während des Kau- und Schluckprozesses aktiv. [7]

Drei Kriterien kennzeichnen einen optimalen Schluckvorgang: Schnelligkeit, Sicherheit und Effizienz. Die durchschnittliche oropharyngeale Bolustransportzeit beträgt unter zwei Sekunden. [8] Die Aufenthaltsdauer des Bolus im Ösophagus beläuft sich in etwa auf 7-10 Sekunden. Dies entspricht der Zeit, die eine Kontraktionswelle bis zum Erreichen des Magens benötigt. [9] Besondere Bedeutung hat während des Schluckens die Kreuzung von Luft- und Speisewegen, welche den Aspirationsschutz der Trachea zur Voraussetzung macht. Bleiben am Ende des Schluckvorgangs keine Speisereste im Ösophagus zurück und konnte der gesamte Inhalt den unteren Ösophagussphinkter passieren, so gilt der Schluckakt als vollständig und effizient. [10]

Nachfolgend wird ein Überblick über die am Schluckakt beteiligten Strukturen gegeben.

2.3.1.1 Mundhöhle und Zunge

Die Mundhöhle ist der Eingangsbereich für Speise- und Atemwege. Sie wird in den Mundvorhof, der Raum zwischen Lippen und Zähnen, und die eigentliche Mundhöhle gegliedert. Letztere reicht von den Zähnen bis in die Schlundenge (Isthmus faucium) hinein.

Die Mundhöhle wird kranial durch den harten und weichen Gaumen, kaudal durch den Mundboden (Musculus (M.) mylohyoideus) mit Zunge und dorsal durch die Gaumenbögen begrenzt.

Die Zunge ist ein schleimhautbedeckter Muskelkörper, der aus inneren und äußeren Muskeln gebildet wird und mit dem Schädel in Verbindung steht. Die inneren Muskeln erlauben der Zunge eine hohe Verformbarkeit im Sinne einer Verkürzung,

Abflachung oder Streckung, während die äußeren dem Zungenkörper eine richtungsbezogene Bewegung ermöglichen (nach vorne, unten oder hinten).

Die Funktionen des Organs sind vielfältig. Neben seiner motorischen Aufgabe bei der Nahrungsaufnahme und der Artikulation, ist es gleichzeitig ein Sinnesorgan, das ebenso mechanische wie geschmackliche Reize detektiert. Hinsichtlich des Schluckaktes sind die Funktionen des Ansaugens von Flüssigkeiten, das Hin- und Herschieben der Nahrung während des Mahlvorgangs und der Transport in Richtung Schlundenge entscheidend. [11, 12]

2.3.1.2 Pharynx

An die Mundhöhle schließt sich der Pharynx an. Er bildet die Kreuzungsebene von Luft- und Speisewegen und hat eine Länge von etwa 12-15 Zentimetern (cm). Seine Funktion ist, neben der Fortleitung von Atemluft und Nahrung, vor allem die Immunabwehr bedingt durch den histologischen Aufbau aus lymphatischem Gewebe. Der Rachenraum lässt sich in drei Etagen einteilen: den Epi- oder Nasopharynx mit Angrenzung an die Schädelbasis und Verbindung zur Nasenhöhle (Choanen), den Meso- oder Oropharynx mit Anschluss an die Cavitas oris sowie den Hypo- beziehungsweise (bzw.) Laryngopharynx, der im Bereich der Epiglottis den Übergang zu Trachea und Ösophagus markiert. Dorsal wird der Pharynx durch die Halswirbelsäule begrenzt. [13]

2.3.1.3 *Larynx*

Der Kehlkopf ist aus einem formgebenden Knorpelgerüst aufgebaut, das sich hauptsächlich aus fünf größeren Knorpeln zusammensetzt: der Epiglottis, dem Schildknorpel, dem Ringknorpel sowie den paarigen Aryknorpeln. Bis auf den Kehldeckel, der aus elastischem Knorpel gebildet wird, bestehen die übrigen aus hyalinem Knorpel und haben daher die Tendenz mit zunehmendem Alter zu verknöchern. [14]

Im Inneren besteht der Kehlkopf aus einem Schleimhautrohr, welches je nach Bedarf durch muskuläre Anteile sowohl eng als auch weit gestellt werden kann. Die Aufgaben des Larynx bestehen in der Atemfunktion, der Phonation, zudem im Schutz der unteren Atemwege beim Schlucken. Von der Epiglottis erstreckt sich der Kehlkopf bis zum Übergang in die Trachea mit ihren Trachealspangen. Wie der Pharynx lässt er sich in drei Etagen aufteilen: den supra-, den trans- und den subglottischen Raum. Der supraglottische Raum bildet den Kehlkopfeingang (Aditus laryngis), wird von der Epiglottis und den Plicae aryepiglotticae begrenzt und reicht bis zu den Taschenfalten.

Darunter, zwischen den Taschen- und Stimmfalten, liegt der transglottische Raum. Die Glottis ist der Bereich der Stimmbildung, an dem die paarigen Stimmbänder durch Veränderung der Stellung im Bereich der Stimmfalten aufeinandertreffen. Kaudal der Stimmfalten schließt sich der subglottische Raum an, welcher die Überleitung zum Trachealsystem bildet. [15]

2.3.1.4 *Oberer Ösophagussphinkter*

Der Ösophagus stellt einen mit Schleimhaut ausgekleideten Muskelschlauch dar, der entsprechend seiner Lage im Körper in drei Abschnitte unterteilt werden kann: Pars cervicalis (ca. 8 cm lang), Pars thoracica (ca. 16 cm) sowie Pars abdominalis (ca. 1-3 cm). Die Gesamtlänge des Ösophagus beträgt beim Erwachsenen durchschnittlich

23 bis 27 cm, sein maximaler Durchmesser hängt vom jeweiligen Kontraktionszustand ab (ca. 1 cm). Histologisch lassen sich vier Wandschichten voneinander unterscheiden: von innen nach außen sind dies Mukosa, Submukosa, Muskularis und Adventitia.

Die Muskularis des oberen Ösophagus besteht vornehmlich aus quergestreifter Muskulatur. Im Verlauf geht diese zunehmend in glatte Muskulatur über. Eine Besonderheit der Muskularis stellt die Anordnung innerer zirkulärer (Stratum circulare) und äußerer Längsmuskelzellen (Stratum longitudinale) dar. Sie sind entscheidend für den Durchlauf der Peristaltikwelle im Rahmen des Nahrungstransports.

Innerviert wird der Ösophagus durch das enterische Nervensystem. Zwei große Nervengeflechte koordinieren unter Einfluss von Sympathikus und Parasympathikus die Bewegungsabläufe des Organs: der Plexus submucosus (Meissner-Plexus) in der Tela submucosa sowie der Plexus myentericus (Auerbach-Plexus) zwischen Stratum circulare und longitudinale. Über sympathische Fasern aus dem Ganglion cervicothoracicum und thorakale Grenzstrangganglien werden die Ösophagusmotilität und die Sekretion der Ösophagusdrüsen gehemmt. Der Parasympathikus hingegen bewirkt über den Nervus (N.) laryngeus recurrens und den N. vagus eine Verstärkung dieser Funktionen. [16]

Als Bestandteil der Pars cervicalis markiert der obere Ösophagussphinkter den Eingang zur Speiseröhre und bildet deren erste physiologische Engstelle. Es handelt sich um eine c-förmige Muskelschlinge, deren Hauptteil der am Ringknorpel ansetzende M. cricopharyngeus bildet. Des Weiteren zählen der kaudale Anteil des M. constrictor pharyngis inferior und der kraniale Abschnitt der Ösophagusmuskulatur hinzu. [11]

Der Ruhetonus des oberen Ösophagussphinkters liegt zwischen 80 und 120 mmHg. [17] Die Relaxation und damit Öffnung des Sphinkters wird durch ein Zusammentreffen mehrerer Auslöser hervorgerufen: die ventro-kraniale Bewegung

von Hyoid und Larynx, welche zur Aufdehnung des oberen Ösophagussphinkters führt, der Vorschub des Bolus sowie die neural vermittelte Erschlaffung.

2.3.2 Die einzelnen Phasen des Schluckaktes

Je nach Literatur wird er vorzugsweise in drei oder vier Phasen unterteilt. [18] Man unterscheidet eine orale Phase, die in eine orale Vorbereitungs- und eine Transportphase gegliedert werden kann, eine pharyngeale und eine ösophageale Phase.

Im Folgenden soll ein Überblick über die aneinander anschließenden Schluckabläufe gegeben werden.

2.3.2.1 *Orale Phase*

Eingeleitet wird der Schluckakt mit der oralen Phase. Nach der Nahrungsaufnahme in den Mund, dem Schluss der Lippen, der Verarbeitung von flüssigen oder festen Speisen durch Kauen und Einspeicheln, wird der geformte Bolus in der Zungenmitte platziert. Anschließend wird der zum Schlucken vorbereitete Bolus über die hintere Zunge in den Oropharynx transportiert. [19]

2.3.2.2 Pharyngeale Phase

Durch Stimulation von Rezeptoren im Bereich der Gaumenbögen, des Zungengrunds und der Rachenhinterwand wird der Schluckreflex eingeleitet: die pharyngeale Phase beginnt.

Neben der simultanen Abdichtung des Nasopharynx unter Anhebung des Gaumensegels und des Larynx durch Epiglottis und Glottis, wird zur verbesserten Koordination die Atmung kurzzeitig ausgesetzt. Dies bezeichnet man als „Deglutitions-Apnoe“. Auf diese Weise sind Nasenhöhle und Respirationstrakt vor Aspiration geschützt und der Bolus kann über den geöffneten oberen Ösophagussphinkter in den Ösophagus fortgeleitet werden. [20]

2.3.2.3 Ösophageale Phase

Nach der Passage des oberen Ösophagussphinkters wird der Bolus in Richtung Magen befördert. Hierbei werden Unterschiede im Transport flüssiger und fester Medien erkennbar. Beim Schlucken von Flüssigkeiten spricht man vom sogenannten „Spritzschluck“. Durch den Druck von Zunge und Mundbodenmuskulatur werden sie bei gleichzeitig geöffneten oberen und unteren Ösophagussphinktern nach kaudal gepresst. Aktive Kontraktionswellen laufen während der Passage kaum ab. Feste Boli hingegen verursachen Dehnungsreize am unteren Ösophagussphinkter und lösen dadurch eine kontinuierliche, propulsive Peristaltik aus, wobei sich die Sphinktern erst nacheinander öffnen. Im Verlauf des Nahrungstransports durch die Speiseröhre ist es möglich, zwischen primären und sekundären Kontraktionswellen zu unterscheiden. Die primären entstehen durch vagale Aktivierung und bewirken eine erste, schnelle, reflektorische Fortleitung. Die sekundären Wellen schließen sich später an. Sie werden durch mechanische Reizung der Ösophaguswand während des Durchgangs ausgelöst und dauern so lange an, bis der Bolus den unteren Ösophagussphinkter passiert hat. [16]

2.4 Schluckdiagnostik: die gegenwärtigen Goldstandards

Zur Differenzierung der Dysphagie erfolgt, nach einer ausführlichen Anamnese mit besonderem Augenmerk auf die vorherrschenden Symptome, Krankengeschichte und schluckrelevanten Veränderungen, die eigentliche Diagnostik.

Geißler [21] empfiehlt hierzu 2012 folgende drei Untersuchungsabschnitte: allgemeine Untersuchung, Funktionsprüfung der am Schluckakt beteiligten Strukturen und eine klinische Untersuchung mittels Schluckversuchen.

Einen Informationsgewinn können während der allgemeinen Untersuchung bereits der Ernährungs- und Mentalzustand, ebenso Körperhaltung und Atmung geben. Die für das Schlucken relevanten Organe werden auf ihre motorische und sensible Funktion sowie ihre physiologischen Reflexe hin überprüft (Hirnnerven: V, VII, IX, X und XII). Zuletzt können Schlucktests Hinweise auf Störungen geben, wenn der Patient z.B. vermehrt schluckt, hustet oder mit belegter Stimme (wet voice) spricht. Die Durchführung dieser Untersuchungen erscheint jedoch nur sinnvoll, wenn der Patient kooperationsfähig und aufmerksam ist. [22]

Letzten Endes reicht die klinische Untersuchung alleine nicht aus um verlässliche Aussagen über eine Aspiration zu treffen, da sich die eigentlichen Schluckvorgänge dem Auge des Beobachters entziehen. [23] Daher werden apparative Verfahren diagnostisch hinzugezogen. Als die beiden häufigsten sind die Videofluoroskopie und die Endoskopie zu nennen, welche im nachfolgenden Unterkapitel genauer beschrieben werden.

Unter Einbeziehung fächerübergreifender Krankheitsbilder sollten immer auch eine neurologische Abklärung und gegebenenfalls (ggf.) eine gastroenterologische Untersuchung im Sinne einer Ösophagogastroskopie unter Narkose in Betracht gezogen werden.

Ergänzend können zudem weitere Bildgebungen wie die Computer- (CT) und die Magnetresonanztomographie (MRT) notwendig werden, welche eine hochauflösende, schichtgenaue Beurteilung knöcherner als auch weichteiliger Strukturen ermöglichen.

2.4.1 Die Videofluoroskopie (VFSS)

Die Videofluoroskopie ist eine der Standarduntersuchungen für die Erfassung von Schluckfunktionen. Hierbei handelt es sich um ein röntgendiagnostisches Verfahren, bei dem der Schluckakt in seiner Gesamtheit, von der Mundhöhle bis zum Mageneingang, unter Durchleuchtung beurteilt und aufgezeichnet werden kann. Die Untersuchung erfolgt hauptsächlich im lateralen Strahlengang. Der Patient wird dabei angeleitet Boli unterschiedlicher Größe, Volumina sowie verschiedener Konsistenzen (breiig, flüssig und fest) zu schlucken, welche zur röntgenologischen Erfassung mit Kontrastmittel versetzt sind. Dabei sollte bei klinischem Verdacht einer Aspiration ein isoosmolares Kontrastmittel, z.B. Iotrolan (Isovist®), gewählt werden, da nach Aspiration hyper- oder hypoosmolarer Kontrastmittel die Gefahr für ein Lungenödem besteht. [24, 25]

Die Videofluoroskopie (VFSS) bietet den Vorteil einer dynamischen Aufzeichnung mit hoher Orts- und Zeitauflösung. Pro Sekunde entstehen zwischen 25 und 30 Bilder, die insbesondere die Analyse der extrem kurzen oropharyngealen Passagezeit (durchschnittlich 0,7 Sekunden) erlaubt. Es können sowohl Störungen in der röntgenologischen Morphologie als auch in der Funktion (Motorik) festgestellt werden. [26] Zudem erlaubt sie im Unterschied zur FEES (Fiberoptisch-endoskopische Evaluation des Schluckens) die direkte Beurteilung aller Schluckphasen.

Einschränkungen hingegen ergeben sich für die Erkennbarkeit einer Speichelaspiration sowie die Beurteilbarkeit der Schleimhautoberflächen. Auch die

Strahlenbelastung während der Durchführung ist als nachteilig zu werten, sodass für jeden Fall eine Nutzen-Risiko-Abwägung erfolgen sollte.

Als schwierig erweist sich des Weiteren die Untersuchung intensivmedizinischer Patienten, die häufig nicht in einer radiologischen Einrichtung untersucht werden können. Die Videofluoroskopie erfordert die Mitarbeit des Probanden und verlangt zudem dessen exakte Positionierung. Steht bereits vor einer ausführlichen Schluckdiagnostik fest, dass eine mögliche Aspiration eine zu große Gefahr für den Betroffenen darstellt, so ist in diesem Falle von dieser Untersuchung abzuraten. [27]

2.4.2 Die fiberoptisch-endoskopische Evaluation des Schluckens (FEES)

Die fiberoptisch-endoskopische Schluckdiagnostik ist neben der Röntgendiagnostik ein weit verbreitetes, etabliertes Verfahren zur Beurteilung des Schluckaktes, welches erstmals von Susan Langmore 1988 beschrieben wurde. [27] Verwendet wird ein handelsübliches flexibles Rhinopharyngolaryngoskop (Durchmesser bis ca. 3,4 mm, Länge ca. 30 cm) mit Lichtquelle, welches nach lokal abschwellenden und oberflächenanästhesierenden Maßnahmen transnasal (unterer oder mittlerer Nasengang) eingeführt wird. In der Regel ist es an eine Kamera und einen Computer angeschlossen, welche die Dokumentation und Archivierung der Untersuchung ermöglichen. In Abhängigkeit von der interessierenden Region können unterschiedliche Endoskop-Positionen gewählt werden. Bei der hohen Position befindet sich die Endoskopspitze am Ende der Nasenhaupthöhle (nahe der Choane) und ermöglicht somit einen Einblick in den Bereich des Nasopharynx (Abbildung 1 und Abbildung 2).

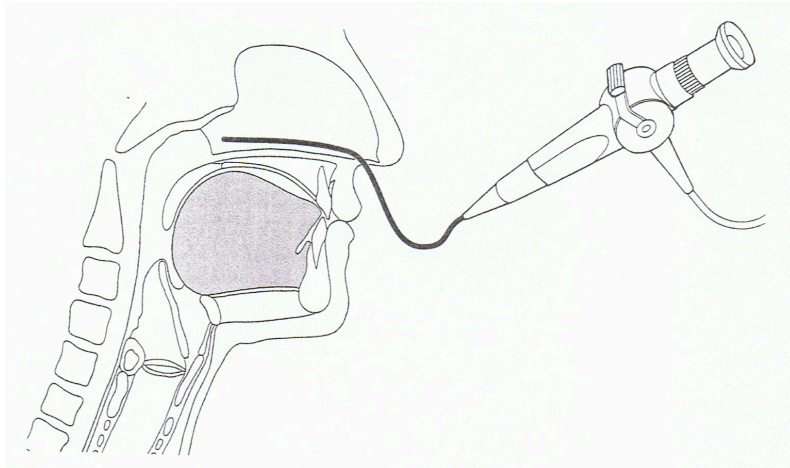


Abbildung 1: Hohe Endoskop-Position. Das Endoskop wird über den unteren oder mittleren Nasengang bis in den Bereich des Choanen vorgeschoben, um den Nasopharynx zu untersuchen; aus: Schluckstörungen: Diagnostik und Rehabilitation, 2010, S.186

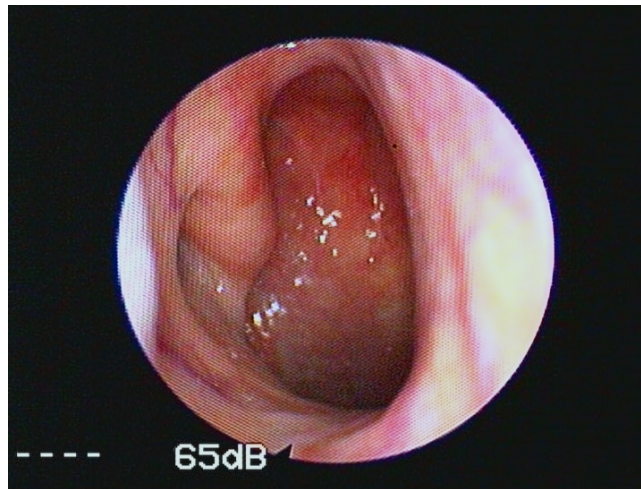


Abbildung 2: Flexible endoskopische Aufsicht in hoher Endoskop-Position mit Blick auf den Nasopharynx

Die mittlere Position erreicht man nach Vorschub des Endoskops bis in den Oropharynx auf Höhe des weichen Gaumens und der Uvula. Sie erlaubt dem Untersucher eine Beurteilung von Hypopharynx, Larynx (Aditus laryngis) sowie der Vallekelregion (Abbildung 3 und Abbildung 4).

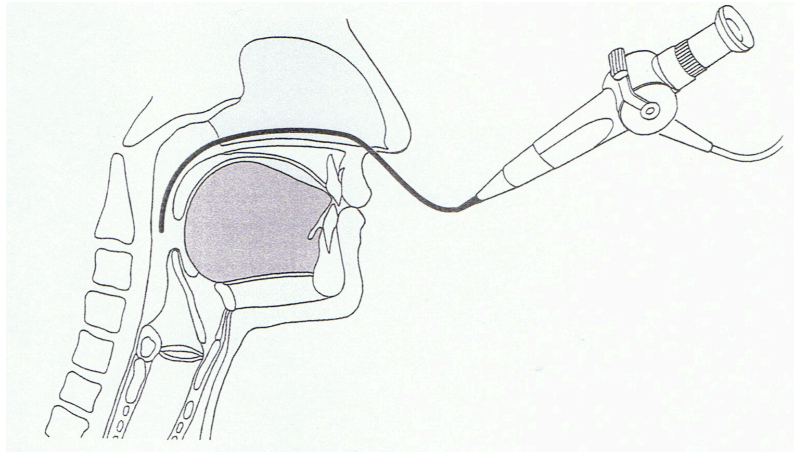


Abbildung 3: Mittlere Endoskop-Position. Vorschub der Endoskopspitze bis in den Bereich des Oropharynx mit Blick auf Hypopharynx und Larynxebene; aus: Schluckstörungen: Diagnostik und Rehabilitation, 2010, S.187

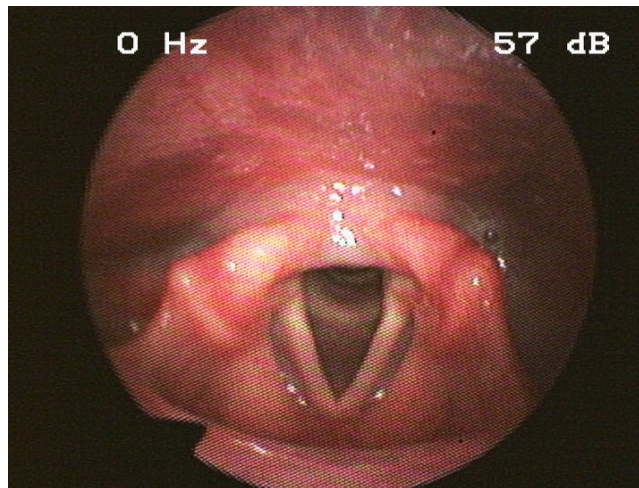


Abbildung 4: Flexible endoskopische Aufsicht auf Hypopharynx und Larynxregion in mittlerer Endoskop-Position. Mitbeurteilung der Epiglottis möglich (unterer Bildrand).

Wird die Endoskopspitze vorsichtig weiter distal platziert, können in der tiefen Position neben der Glottisebene, der subglottische Raum und der Eingang der Trachea beurteilt werden (Abbildung 5 und Abbildung 6). [25, 27]

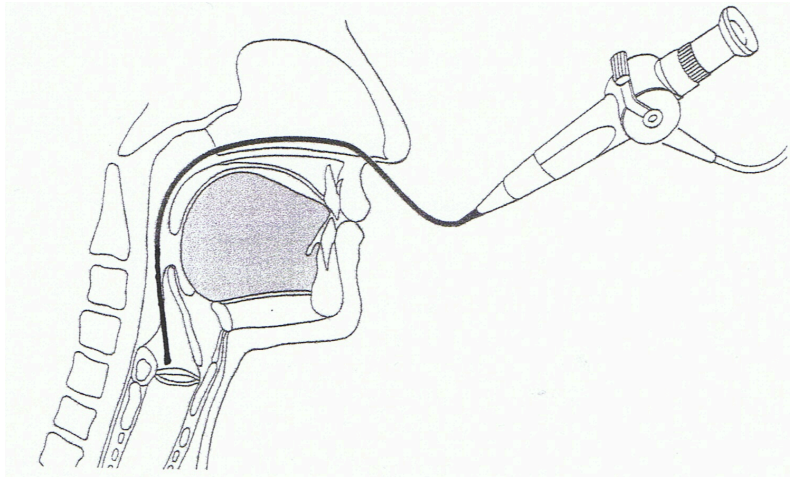


Abbildung 5: Tiefe Endoskop-Position. Die Endoskopspitze kann über die Kehlkopfebene hinaus vorgeschoben werden und der Mitbeurteilung des Trachealeingangs dienen; aus: Schluckstörungen: Diagnostik und Rehabilitation, 2010, S.186 (bearbeitet)

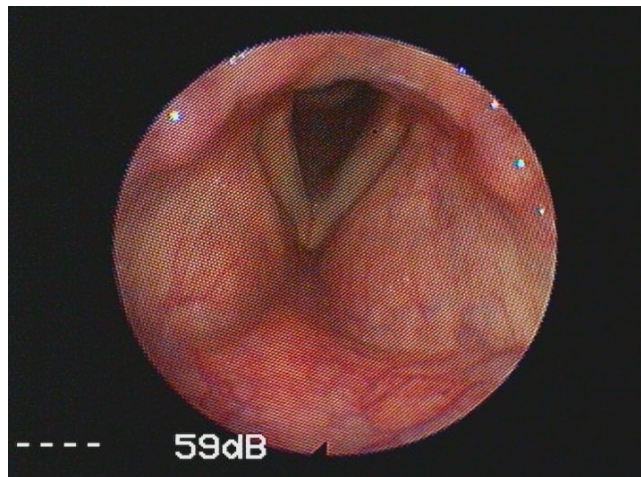


Abbildung 6: Flexible endoskopische Aufsicht der Glottisebene mit Blick auf die Stimmbänder und den Trachealeingang in tiefer Endoskop-Position

Der Untersuchungsablauf lässt sich systematisch in drei Abschnitte unterteilen. Dieser beginnt zunächst mit der Beurteilung der Speise- und Atemwegsanatomie. Neben der Inspektion der Schleimhautverhältnisse hinsichtlich entzündlicher und neoplastischer Veränderungen wird vor allem auf Einengungen des Speiseweges sowie Malformationen geachtet. Ferner müssen Hinweise auf verschiedene Formen der inadäquaten Speichel- bzw. Sekretbewältigung erfasst werden. Hierbei werden Speichelretention, -penetration und -aspiration unterschieden. Gleichmaßen sind Funktionsprüfungen (zunächst ohne Kostgabe) der relevanten Bewegungsabläufe indiziert, welche den velopharyngealen Abschluss, die Stimmlippenmotilität und den

Larynxverschluss beim Luftanhalten, Husten, Pressen sowie bei Phonation beinhalten.

Im zweiten Teil der Untersuchung werden Schluckversuche unter Gabe von Nahrung durchgeführt. Ebenso wie bei der VFSS werden hierzu die drei wichtigsten Nahrungskonsistenzen mit unterschiedlichen Bolusvolumina verwendet. Eine verbesserte Kontrastierung wird durch das Hinzusetzen von grüner oder blauer Lebensmittelfarbe erzielt. Im Rahmen eines optionalen dritten Untersuchungsabschnitts können erlernte therapeutische Schluckmanöver unter endoskopischer Sicht auf ihre Wirksamkeit überprüft werden. Zuletzt sollte die Auslösbarkeit von Schutzreflexen kontrolliert werden. [27]

Betrachtet man die Schluckphasen bei der fiberoptisch-endoskopischen Untersuchung im Einzelnen, so können die nachstehenden Beurteilungen erfolgen: in der oralen Vorbereitungsphase kann die Qualität der Boluskontrolle z.B. unter Beobachtung des Leaking-Phänomens beurteilt werden. Hierunter versteht man das frühzeitige Abgleiten von Bolusanteilen in Richtung Oropharynx (Abbildung 7).

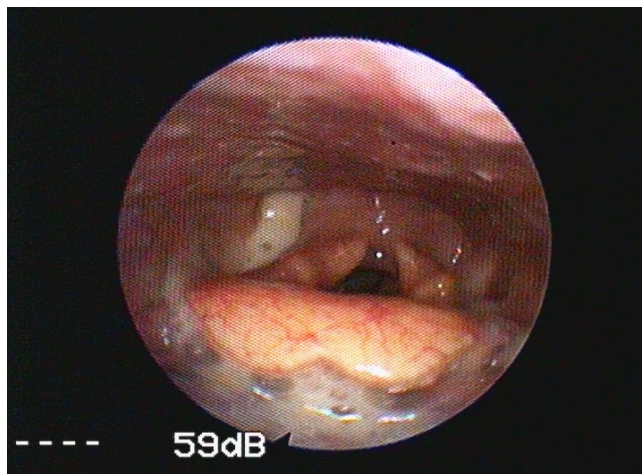


Abbildung 7: Leaking Phänomen, flexible endoskopische Aufsicht. Der Speisebolus gleitet unkontrolliert an der Epiglottis (unterer Bildrand) vorbei und sammelt sich im Bereich der Glottisebene an mit der Gefahr einer möglichen Aspiration.

In der oralen Transportphase werden die Bolusfront und die zeitgerechte Triggerung des Schluckreflexes beobachtet.

Die pharyngeale Phase entzieht sich weitestgehend der Untersuchung, da die Aufsicht auf die oropharyngealen Strukturen durch das sogenannte „white out“-

Phänomen verhindert wird (Abbildung 8). Dies erklärt sich am ehesten dadurch, dass während des ablaufenden Schluckvorgangs die Optik durch das sich hebende Velum an die Rachenhinterwand gedrängt wird.



Abbildung 8: White out, flexible endoskopische Ansicht. Abdrängen des Endoskops an die Rachenhinterwand während des pharyngealen Schluckvorganges und damit verbundene Sichteinschränkung.

Beim Zurückziehen des Endoskops in die hintere Nasenhaupthöhle kann in Position 1 jedoch eine Beurteilung des velopharyngealen Abschlusses unter Kostgabe stattfinden (Abbildung 9) und eine nasale Penetration von Bolusanteilen registriert werden.

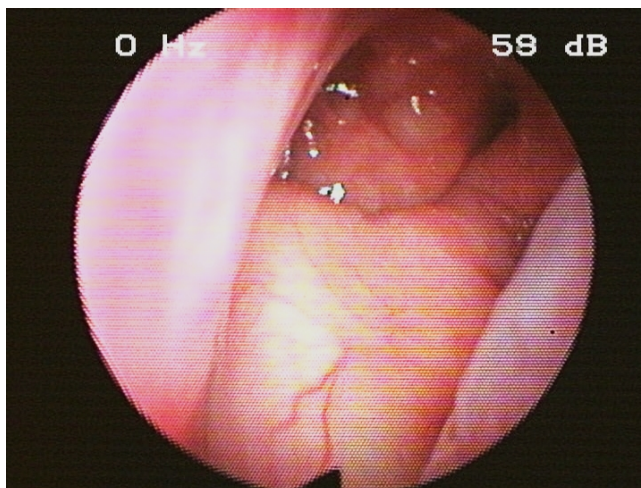


Abbildung 9: Nasenhaupthöhle. Velumelevation, flexible endoskopische Ansicht. Beurteilung der Abdichtungsfunktion des Nasopharynx in hoher Endoskop-Position. Keine erkennbare Penetration von Speisen.

Auch die ösophageale Phase lässt sich aufgrund der verwendeten Länge des Endoskops nicht betrachten.

Kommt es jedoch zu Speichel- und Nahrungsretentionen im Bereich des Hypopharynx oder zu dessen retrograder Füllung, so erlaubt dies indirekte Rückschlüsse auf eine Störung der Boluspassage im pharyngo-ösophagealen Übergang bzw. im oberen Ösophagus.

Die Vorteile der Untersuchung sind vor allem in ihrem kostengünstigen Aspekt, ihrer Aussagekraft und ihrer geringen Belastung bzw. Gefährdung für den Patienten zu sehen. Darüber hinaus ist die FEES am Bett immobiler Patienten durchführbar und damit nicht an einen radiologischen Standort gebunden.

Die FEES ist nicht zwangsläufig von der mentalen Verfassung des Untersuchten abhängig und kann in einigen Abschnitten auch ohne die aktive Mitarbeit des Patienten erfolgen. Nicht zuletzt spielt auch die Reproduzierbarkeit der Untersuchung dank fehlender Strahlenbelastung eine wichtige Rolle. So können nach therapeutischen Interventionen einer Erkrankung Erfolge und Veränderungen wiederholt kontrolliert werden. [27]

2.5 Neue Wege in der Schluckdiagnostik: die B-Bild-Sonographie

Obgleich beide Verfahren, VFSS und FEES, aktuell standardmässigen Einsatz in der Diagnostik von Schluckstörungen finden, so weisen sie dennoch Mängel auf, welche sich gegenseitig nur unzureichend ausgleichen. Daher bedarf es der Entwicklung weiterführender Untersuchungstechniken, welche die bisherigen hinreichend ergänzen.

Diesen Stellenwert könnte in Zukunft die B („brightness“) -Bild-Sonographie einnehmen. Als angesehenes, nicht-invasives, risikoarmes und kostengünstiges Untersuchungsverfahren findet die Sonographie bereits grosse Anwendung im Kopf-Halsbereich zur Beurteilung verschiedener Gewebe und Weichteile.

Es handelt sich um ein Schnittbildverfahren, welches Schallechos aus unterschiedlichen Grauwertbildern („brightness“) zusammenstellt. Auf diese Weise entstehen zweidimensionale, maßstabsgetreue Schnitte, die Bildinformationen durch Helligkeitsunterschiede liefern. [28] Ein entscheidender Vorteil dieser Methode ist, dass durch „Abscannen“ einzelner Regionen im Rahmen der dynamischen Untersuchung ein räumlicher Eindruck entsteht. [28, 29] Dies ermöglicht nicht nur eine flächenhafte Veranschaulichung von Organen und Strukturen, sondern erleichtert auch die Darstellung von Pathologien im Seitenvergleich. Zudem können Funktionen von Organen während der Untersuchung in Kooperation mit dem Patienten erfasst werden. [30]

Bislang wird die Sonographie vor allem zur präoperativen Diagnostik, gezielten Operationsplanung sowie postoperativen Nachsorge eingesetzt. Der besondere Nutzen ist dabei insbesondere in der Reproduzier- und beliebigen Wiederholbarkeit der Untersuchung zu sehen. Zwar sind Qualität und Treffsicherheit sowohl maßgeblich von der Erfahrung des Untersuchers als auch von den jeweiligen apparativen Gegebenheiten abhängig und bedürfen entsprechender anatomischer Kenntnisse, dennoch ist sie in geschulten Händen sehr wohl ein erfolgversprechendes Instrumentarium mit detailgenauer Darstellung. [29-31]

Der bisherige Einsatz der B-Bild-Sonographie als diagnostisches Instrument in der Schluck- bzw. Dysphagie-Diagnostik beläuft sich auf einzelne Studien, welche bereits einen Einblick in die Möglichkeiten des Ultraschalls erlauben.

Als Beispiel sei hierfür Geddes zu nennen, der 2010 in einer Arbeit 388 Schluckakte unter Verwendung der Sonographie an Säuglingen während des Stillens analysierte. Es zeigte sich, dass der Milchbolus mithilfe des Ultraschalls sehr gut visualisiert werden konnte, woraus die Autoren folgern, dass die Untersuchung Rückschlüsse auf Schluckstörungen bei gestillten Kindern ermöglichen kann. [32] Auch Palabiyik zeigte 2012 im Rahmen einer Studie an 93 gesunden Kindern, dass die konventionelle Sonographie des zervikalen Ösophagus eine geeignete Methode ist, um Erkrankungen in diesem Bereich zu bewerten. [33] Beide Studien beschränkten sich größtenteils auf rein anatomische Darstellungen und Beschreibungen.

Der Versuch erster dynamischer Schluckuntersuchungen konnte bisher bei der Dokumentation von Bewegungen der Zunge, des Hyoids und der lateralen Pharynxwand gelingen. [34-39]

Zudem setzte Morinière aus Frankreich mit seinem Arbeitskreis 2013 die Ultrasonographie erfolgreich zur Untersuchung des oberen Ösophagusabschnitts an 25 gesunden Erwachsenen ein. [40] Ihnen gelang die Erhebung erster morphologischer sowie funktioneller Messwerte beim Bolusdurchtritt durch den oberen Ösophagussphinkter.

2.6 Zielsetzung und Fragestellung der vorliegenden Arbeit

Da die Sonographie noch kein routinemäßiges Untersuchungsverfahren in der Bewertung des Schluckaktes darstellt [33, 40], sollte anhand der vorliegenden prospektiven, klinischen Studie ein eigenständiger Untersuchungsablauf hinsichtlich der sonographischen Schluckdiagnostik entwickelt sowie die Darstellbarkeit der beteiligten anatomischen Strukturen überprüft werden.

Der Schluckablauf sollte unter Einbeziehung des oberen Ösophagusdrittels erstmals ultrasonographisch erfasst und mittels Video dokumentiert werden. Dies diene dem Vergleich der unterschiedlichen, eingesetzten Schluckmedien (Wasser, Flüssigkeit und Götterspeise) hinsichtlich dynamischer Messgrößen wie Schluckgeschwindigkeiten, Larynxelevationszeit und Schluckdauer.

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Patientenkollektiv

In der vorliegenden Studie wurden im Zeitraum vom April 2012 bis Februar 2014 insgesamt 107 anamnestisch gesunde Probanden im Alter zwischen 19 und 86 Jahren prospektiv mittels Ultraschall untersucht, die keine Zeichen einer Schluckstörung angaben.

Als Ausschlusskriterien wurden anamnestische Schluckbeschwerden (Dysphagie), Erkrankungen im Bereich der Zunge und des Zungengrundes, des Oro- und Hypopharynx, des Larynx, des Ösophagus sowie der Schilddrüse festgelegt.

Zudem führten sowohl ein Alter von unter 18 Jahren, eine neuro- sowie onkologische Vorgeschichte als auch vorangegangene Operationen im Mund-, Rachen- und Halsbereich zum Ausschluss von der Studie.

Im Verlauf der durchgeführten Ultraschalluntersuchung ergaben sich per Zufallsbefund bei 26 Probanden Hinweise auf Pathologien im Kopf-Halsbereich. Hierzu zählten ein- bzw. beidseitige Strumen bei 9 Probanden, noduläre Schilddrüsenveränderungen bei 14 Probanden sowie eine Zyste des Mundbodens bei einem Probanden. Zwei weitere Personen waren in der Vergangenheit ein- bzw. beidseitig thyreoidektomiert worden.

Da bei den genannten 26 Probanden die Einschlusskriterien für die vorliegende Studie nicht erfüllt waren, wurden sie rückwirkend exkludiert.

Die Untersuchungen und Ergebnisse der vorliegenden Studie beziehen sich damit auf die 81 gesunden Probanden im Alter zwischen 19 und 66 Jahren.

3.2 Durchführung der sonographischen Untersuchung

3.2.1 Ultraschallgerät

Die extraorale, transkutane ultrasonographische Untersuchung wurde mit Hilfe eines Siemens X300 Ultraschallgerätes durchgeführt. Bei dem eingesetzten Ultraschallkopf handelte es sich um einen Linearscanner vom Multifrequenz-Typ. Folgende Parameter wurden als Grundeinstellung gewählt: Sendefrequenz von 4 Mega-Hertz (MHz), Dynamikbereich von 30 Dezibel (dB) sowie Bildsequenzen von 22-23 Bildern pro Sekunde. Das Tissue Harmonic Imaging (THI) kam zur verbesserten Kontrastierung und räumlichen Auflösung zum Einsatz.

Entsprechend der unterschiedlichen Voraussetzungen in Bezug auf die Darstellbarkeit der Anatomie jedes Patienten variierte die Eindringtiefe der Ultraschallwellen zwischen 4 und 5,5 cm.

Alle Messdaten wurden auf der Festplatte des Gerätes gespeichert und im Anschluss an die Untersuchung mittels USB-Stick auf den Computer übertragen.

3.3 Beurteilung der Schluckvideos

Die Berechnung der erhobenen Messwerte erfolgte mit dem Programm MAGIX VIDEO DELUXE 2014. [41] Es ermöglichte das Aufrufen und Abspielen von Ultraschallvideos unter kontrollierter Zeitwiedergabe. Die Zeitzählereinstellung wurde in Frames festgelegt, wobei 30 Frames einer Sekunde entsprachen. Zur besseren Nachvollziehbarkeit der Messungen wie Dauer der Larynxelation (Anheben des Larynx mit Verschiebung der Schilddrüse) und Dauer der sonographisch einsehbaren Boluspassage (Eintritt des Bolus bis hin zum Austritt im einsehbaren Videoabschnitt) der Schluckakte, erfolgte die Umrechnung von Frames in Sekunden unter Anwendung des Dreisatzes.

Herleitung des Dreisatzes zur Umrechnung von Frames in Sekunden:

1 Sekunde (s) = 30 Frames

0,033 Sekunden = 1 Frame

33,333 Millisekunden (ms) = 1 Frame

Beispiel-Rechnung:

Wenn die Dauer der Larynxelation 21 Frames misst, ergibt sich folgende Umrechnung in Sekunden:

$21 \text{ Frames} \times 0,033\text{s} = 0,699 \text{ s} = 69,9 \text{ ms}$

Die jeweils einsehbare Strecke des Ösophagusabschnitts im Ultraschallvideo wurde manuell am Computer-Bildschirm ausgemessen und in cm angegeben. Maßstab zur Bestimmung der Strecke im Ultraschallvideo war die jeweilige Schallwellen-Eindringtiefe, welche am Ultraschallbildrand vermerkt ist. Diese variierte je nach Proband zwischen 4 und 5,5 cm.

3.4 Statistik

Die Datenauswertung und Grafiken wurden mit dem Statistik-Programmpaket STATISTICA angefertigt. [42]

Die deskriptive Darstellung erfolgte für quantitative/metrische Parameter wie Lebensalter oder Body-Mass-Index (BMI) durch Mittelwert (MW) und Standardabweichung. Qualitative/diskrete Parameter wie das Geschlecht (weiblich/männlich), oder die Darstellbarkeit bestimmter anatomischer Strukturen (ja/nein) wurden durch die Angabe einer Häufigkeitsverteilung charakterisiert.

Der Vergleich quantitativer Parameter zwischen zwei Gruppen (z. B. Probandenalter bei Frauen und Männern) erfolgte mit dem Mann-Whitney-U-Test. Bei qualitativen Parametern wurde der Chi-Quadrat-Test, bei dichotom verteilten qualitativen Parametern (Schilddrüse darstellbar/nicht darstellbar) hingegen der in diesem Fall zuverlässigere exakte Test nach Fisher angewandt.

Für den Vergleich von mehr als zwei abhängigen quantitativen Variablen (drei Schluckgeschwindigkeiten bei Leerschluck, Spritzschluck und Götterspeise) wurde die Rangvarianzanalyse nach Friedman benutzt und bei statistisch signifikantem Haupttest paarweise Post-Hoc-Tests mit einem Bonferroni-Holm-korrigierten Conover-Test ergänzt. [43-45] Eine Adjustierung der p-Werte erfolgte.

Der Zusammenhang zwischen der Darstellbarkeit anatomischer Strukturen und jeweils mehreren Einflussgrößen wurde mit Hilfe einer logistischen Regression untersucht. [46] Die logistische Regression wird für Fälle verwendet, wenn die abhängige Variable ihrer Natur nach binär ist, also nur zwei mögliche Werte (hier beispielsweise Schilddrüse darstellbar/nicht darstellbar) annehmen kann. Sie ist, ähnlich wie die einfache oder die multiple Regression, mit einer (einfache logistische Regression) oder mehreren (multiple logistische Regression) Einflussgrößen durchführbar. Im multiplen Fall wird der Einfluss jeder Größe unter rechnerischer Kontrolle der übrigen Größen berechnet, das bedeutet die übrigen Größen werden rechnerisch konstant gehalten.

Mit der logistischen Regression können OddsRatios („Chancen-Verhältnisse“) berechnet werden. Die OddsRatio (OR) spiegelt die Stärke des Zusammenhangs von zwei Merkmalen wider. Sie gibt das Risiko einer Gruppe (z. B. Männer) im Vergleich zur einer anderen Gruppe (z. B. Frauen) für eine der beiden Ausprägungen der Zielvariable (z. B. Schilddrüse darstellbar) an. Liegt das 95%-Konfidenzintervall der Odds-Ratio außerhalb des Wertes 1, dann ist der Unterschied zwischen den beiden Gruppen (in diesem Beispiel Frauen/Männer) statistisch signifikant. Wird in die Berechnung der OddsRatio mehr als eine Variable einbezogen, dann können auch multifaktorielle Vergleiche durchgeführt werden. Dabei wird der Einfluss einer Variablen auf die Darstellbarkeit der Schilddrüse unter rechnerischer Kontrolle der

übrigen einbezogenen Variablen berechnet. Auch hier werden die übrigen Variablen rechnerisch konstant gehalten.

Alle genannten Testverfahren sind nichtparametrische Tests. Sie liefern auch dann zuverlässige Ergebnisse, wenn wichtige Voraussetzungen anderer Testverfahren (z. B. Normalverteilung) nicht erfüllt sind oder aufgrund kleiner Stichprobenumfänge nicht zuverlässig geprüft werden können.

Als Grenze zur statistischen Signifikanz wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0,05$ angesetzt. Auf eine Korrektur des Signifikanzniveaus wegen Mehrfachtestung wurde (außer bei den Post-Hoc-Tests zur Friedman-Rangvarianzanalyse) wegen des explorativen Charakters der Studie verzichtet.

4 ERGEBNISSE

4.1 Untersuchungsablauf

Um ein möglichst valides und reproduzierbares Ergebnis zu erreichen, wurde ein Standard-Untersuchungsschema festgelegt.

Alle Untersuchungen wurden zur Minimierung personenabhängiger Veränderungen und der besseren Vergleichbarkeit der erhobenen Daten von demselben Untersucher durchgeführt.

In Anlehnung an die Untersuchungsvorbereitung Herrn Prof. Dr. H. Iros [7] wurde der Proband mit einer Nackenrolle unter dem Hals auf dem Rücken gelagert. Diese Position gewährleistete eine Überstreckung des Halses und somit eine optimale Ankopplung des Schallkopfes, insbesondere im Bereich des Mundbodens und des ventralen Halses. Im Gegensatz zu Iro, welcher die sonographische HNO-Untersuchung im Bereich der Schilddrüsen beginnt, wurde in dieser Studie ein systematisches Untersuchungsvorgehen von kranial nach kaudal gewählt, entsprechend dem anatomischen Schluckablauf.

Zu Beginn der Untersuchung wurde der Zungengrund in zwei Ebenen (Länge, Breite und Höhe, je in Millimetern (mm)) vermessen und das Zungengrundvolumen bestimmt. Es folgten die Darstellungen von Epiglottis sowie der Larynxregion mit Taschenfalten, Stimmlippen und Aryknorpeln.

Anschließend wurden die seitlichen Halspartien untersucht: hierzu drehte der Proband das Gesicht jeweils zur Gegenseite der Untersuchung. In dieser Position wurden zuerst die Messdaten des rechten, anschließend des linken Schilddrüsenlappens erfasst (Länge, Breite und Höhe je in mm) und ihre Volumina bestimmt.

Weiter wurde der Durchmesser (d) des Ösophagus in cm erhoben, gefolgt von seinem größtmöglich einsehbaren Längsverlauf in mm. Im selben Schritt dieser

Erhebung wurde die Darstellbarkeit von Wirbelkörpern und Bandscheiben ausgeführt, in Abbildung 10 bis Abbildung 18 werden nachfolgend exemplarisch die ultrasonographisch darstellbaren Strukturen veranschaulicht:

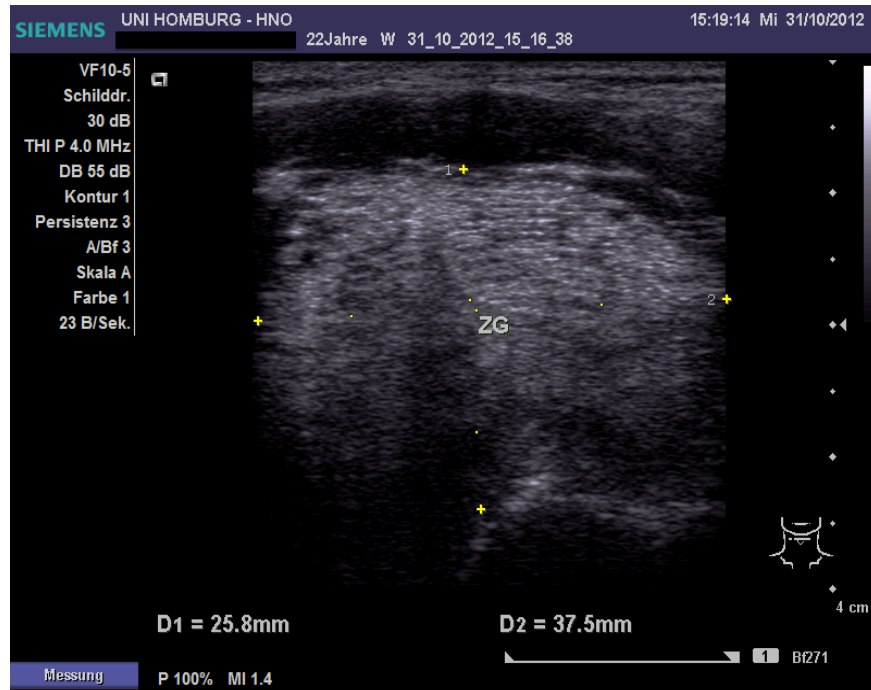


Abbildung 10: Darstellung des Zungengrundkörpers im Querschnitt. Seine Umrisse werden durch gelbe Markierungen erfasst. ZG= Zungengrund

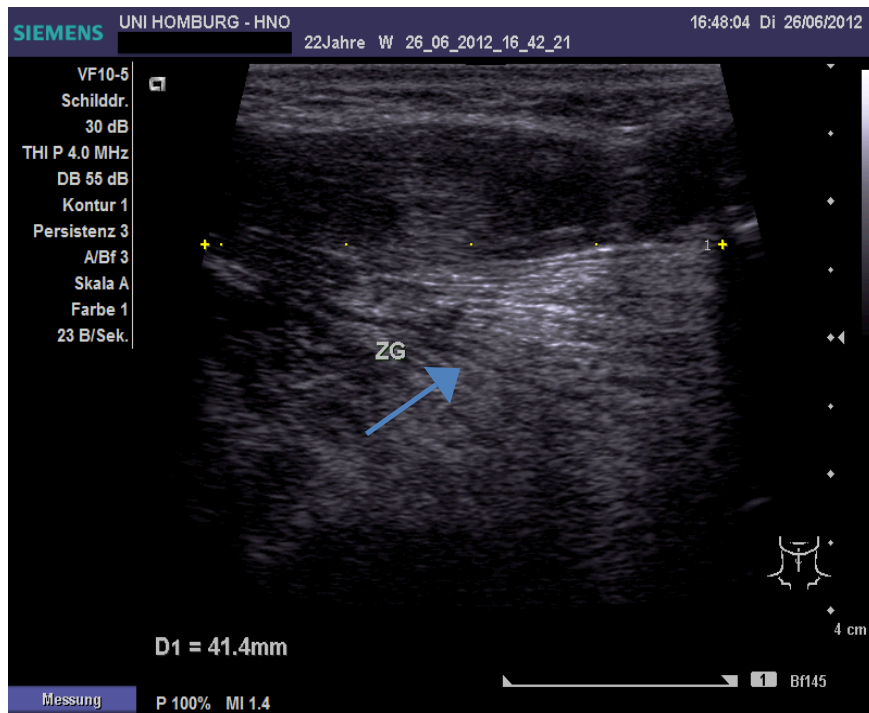


Abbildung 11: Darstellung des Zungengrundkörpers im Längsschnitt. Erkennbar ist die muskuläre Längsstreifung (Pfeil). ZG= Zungengrund

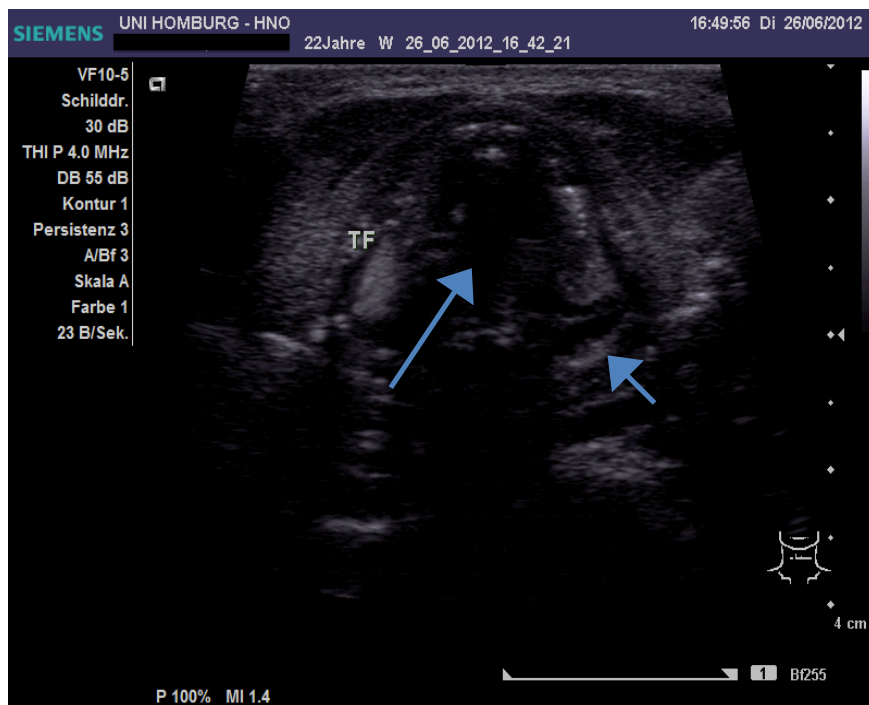


Abbildung 12: Darstellung der intralaryngealen Strukturen. Der lange Pfeil zeigt auf die Stimmbandebene der rechten Seite, die Taschenfalten sind mit TF(= Taschenfalte) markiert. Der kurze Pfeil markiert den linken Aryknorpel.

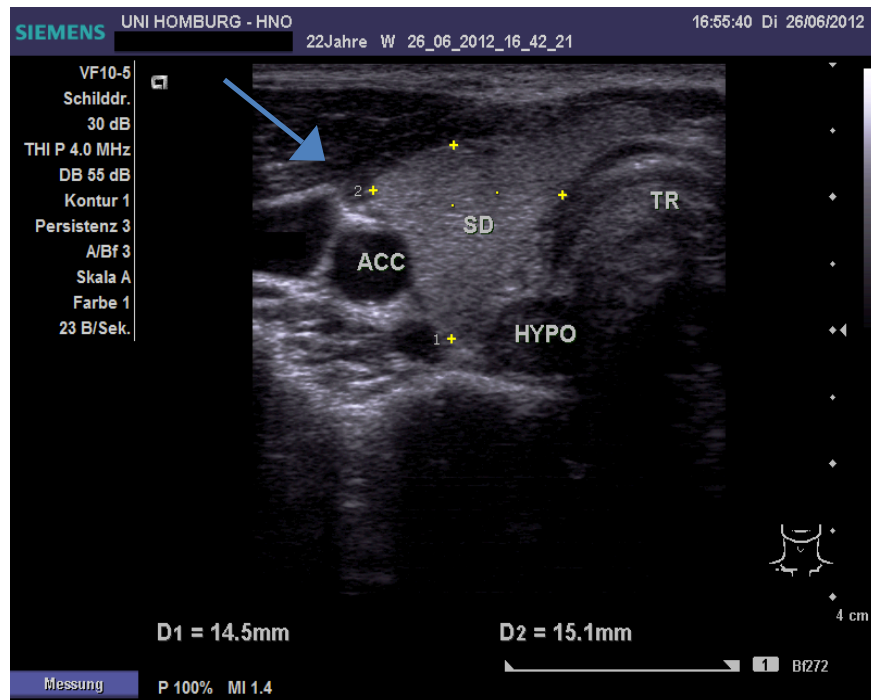


Abbildung 13: Darstellung des rechten ventralen Halses im Querschnitt. Es können sowohl die Trachea (TR) mit baumrindenartiger Struktur, die Schilddrüse (SD), als auch die Gefässe sonographisch miterfasst werden (ACC= Arteria carotis communis), angrenzend im äusseren linken Bildrand Vena jugularis interna (nicht markiert). Weiter ist der Hypopharynx (HYPO) in unmittelbarer Nähe zur Trachea einsehbar. Der Pfeil markiert den Muskulus sternocleidomastoideus.

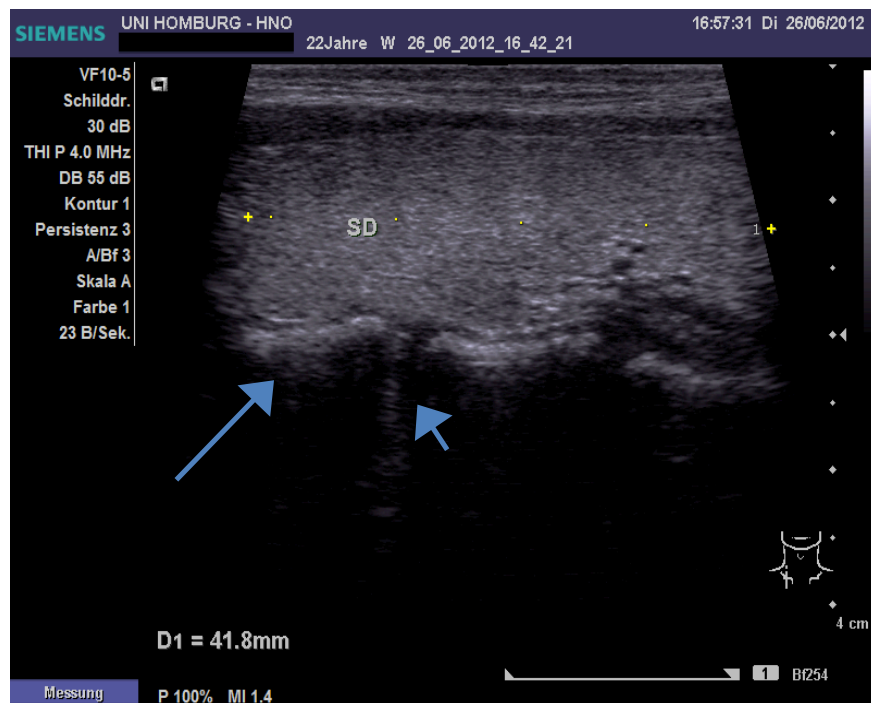


Abbildung 14: Darstellung der rechten Schilddrüse im Längsschnitt. Im kaudalen Bildrand ist die Halswirbelsäule abgebildet. Der lange Pfeil markiert einen Wirbelkörper, der kurze Pfeil den Wirbelzwischenraum mit Bandscheibe. SD= Schilddrüse

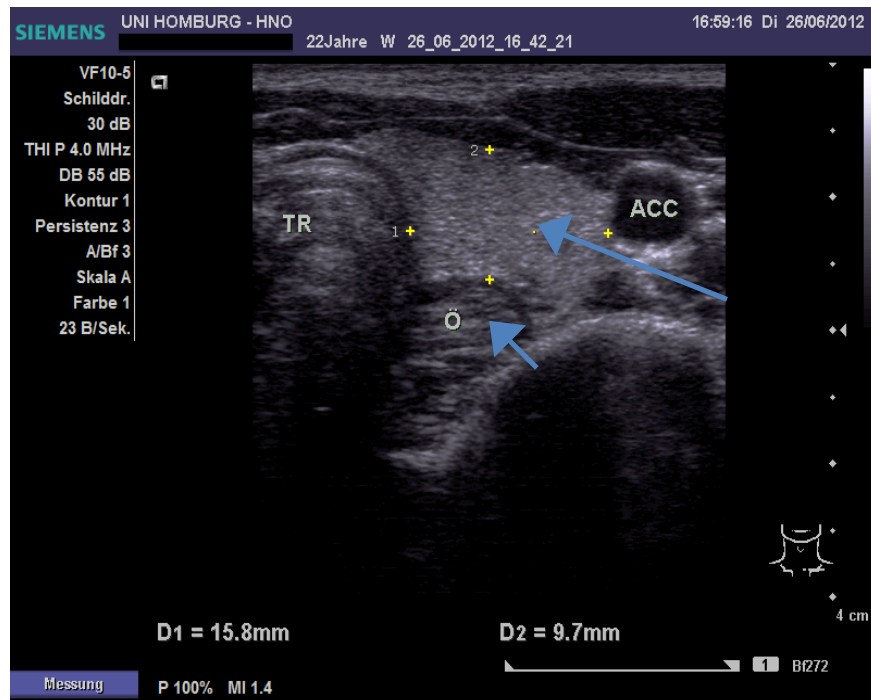


Abbildung 15: Darstellung des linken ventralen Halses im Querschnitt. Der lange Pfeil zeigt auf die Schilddrüse. Im linken Bildrand ist erneut die Trachea (TR) mit baumrindenartiger Struktur (Lufteinschlüsse) abgebildet. Der kleine Pfeil markiert die Speiseröhre im Querschnitt (Ö= Ösophagus). Auch die Arteria carotis communis (ACC) ist im rechten oberen Bildrand dargestellt.

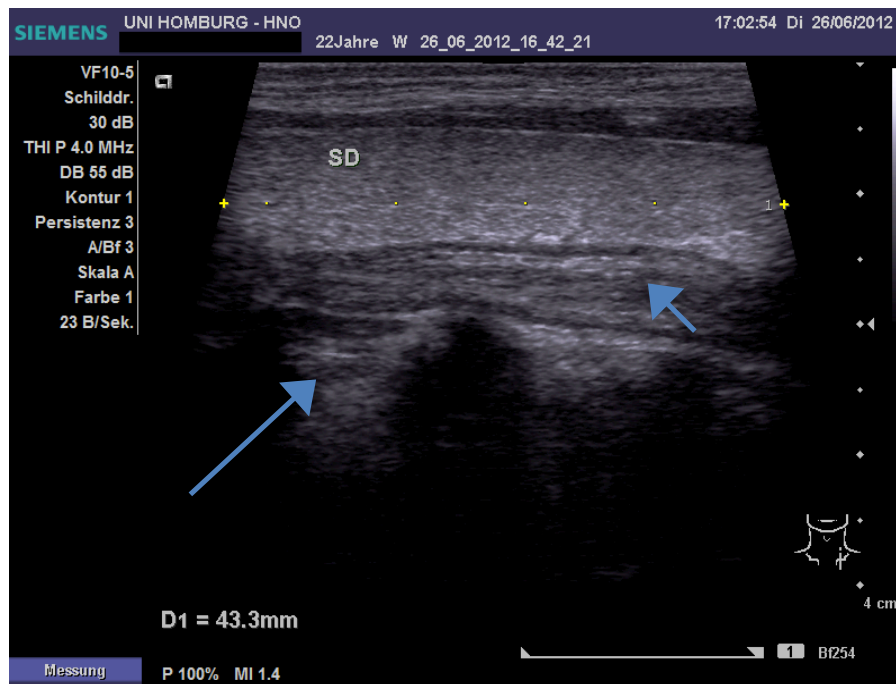


Abbildung 16: Darstellung des ventralen linken Halses im Längsschnitt. Das Schilddrüsengewebe ist mit SD (= Schilddrüse) gekennzeichnet. Miterfasst werden Wirbelsäule (langer Pfeil) und Ösophagus (kurzer Pfeil).

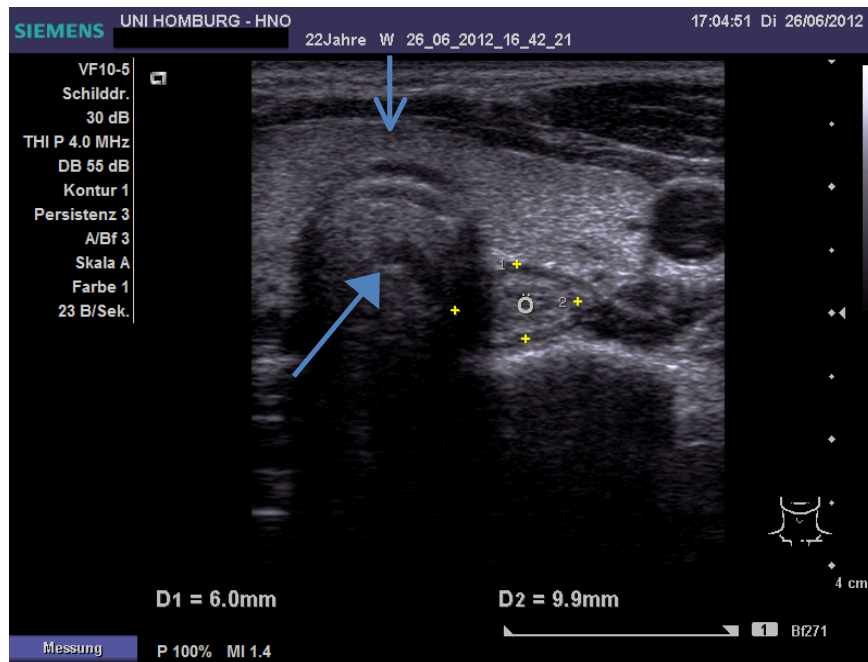


Abbildung 17: Darstellung des Ösophagusquerschnitts im Bereich des linken ventralen Halses (Ö= Ösophagus) in unmittelbarer Nachbarschaft zur Trachea (langer Pfeil). Seine Umrisse sind durch gelbe Kreuze markiert. Der Kurzpfeil deutet auf den Schilddrüsenisthmus.

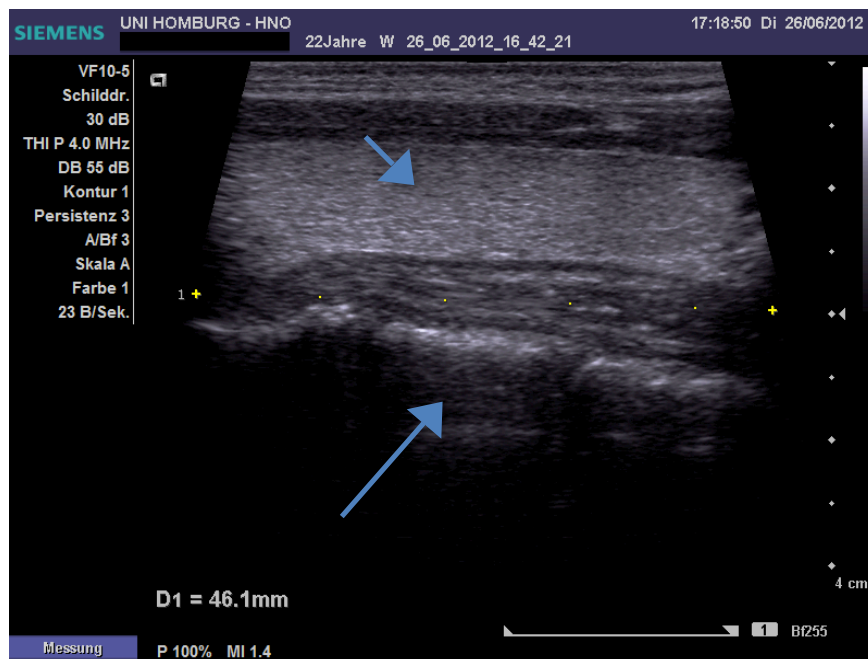


Abbildung 18: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt (entlang der gelben horizontalen Markierung). Es sind mehrere Wandschichten erkennbar. Die Speiseröhre liegt in enger Nachbarschaft zur Halswirbelsäule (langer Pfeil). Oberhalb des Ösophagus ist das Schilddrüsengewebe im Bild erkennbar (kurzer Pfeil).

Im Rahmen der Schluckdiagnostik wurden im letzten Untersuchungsteil drei Videoaufnahmen angefertigt, bei denen der Proband aufgefordert wurde, je drei

unterschiedliche Medien zu schlucken: Speichel (Leerschluck), gefolgt von Wasser (Spritzschluck) und zuletzt einen Löffel „Götterspeise“.

Der Ösophagus wurde während der aufgezeichneten Schluckakte im Sagittalschnitt dargestellt. Entsprechende Videoausschnitte sollen im Folgenden der Veranschaulichung dienen (Abbildung 19 bis Abbildung 32).

4.1.1 Leerschluck

Die Abbildung 19 bis Abbildung 23 zeigen exemplarisch in Standbildern die Befunde bei der Ausführung eines Leerschlucks.



Abbildung 19: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt (langer Pfeil) mit erkennbarer Wandschichtung. Ausgangslage in Ruhe mit relaxierter Ösophaguskulatur.

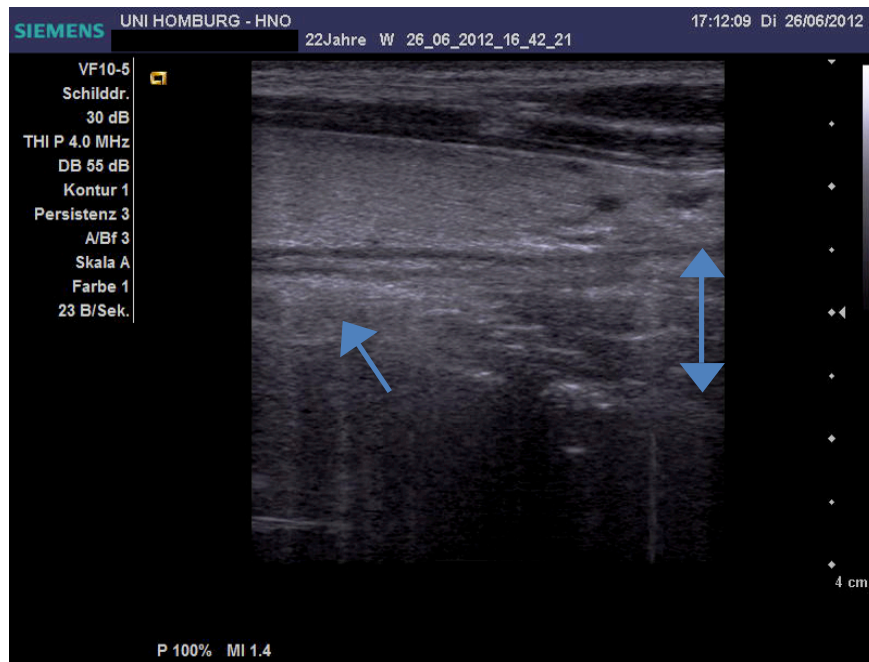


Abbildung 20: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt. Eintritt des Speichelbolus mit Luft-Artefakten (kleiner Pfeil), sichtbare Aufdehnung des Ösophagus (Doppelpfeil) unter der Boluspassage.

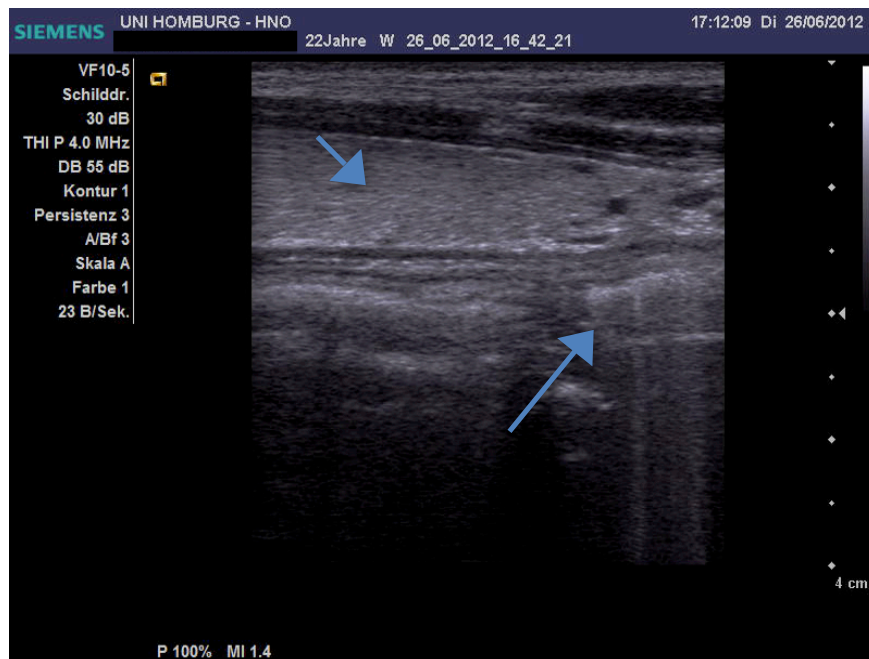


Abbildung 21: Darstellung des Ösophaguslängsschnitts. Boluspassage im einsehbaren Ösophagusabschnitt. Der lange Pfeil markiert einen Anteil des mit Luft versetzten Bolus innerhalb der Speiseröhre. Der Kurzpfeil markiert das darüber liegende Schilddrüsengewebe.

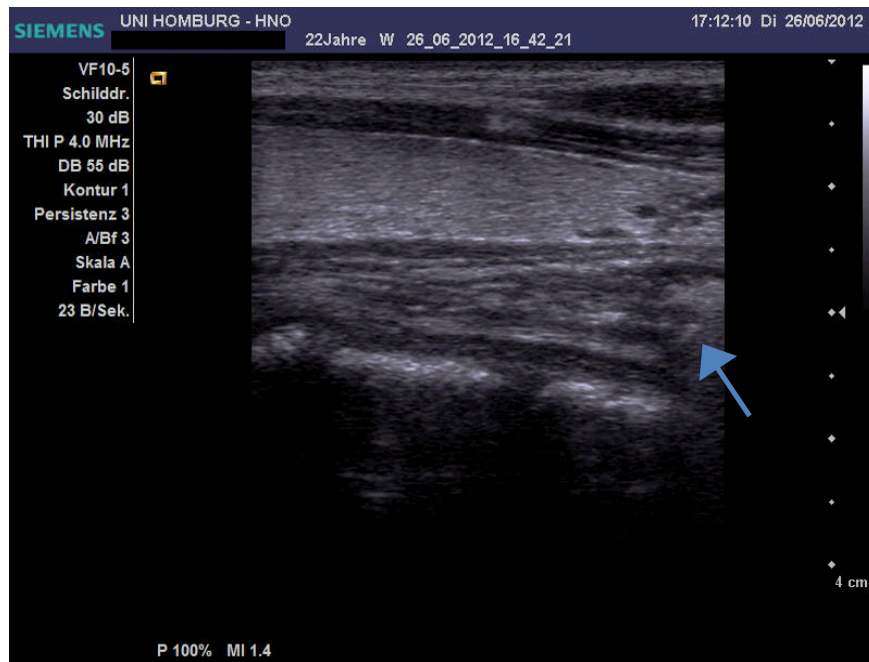


Abbildung 22: Darstellung des Ösophaguslängsschnitts. Austritt des Speichelbolus (Pfeil) im sonographisch einsehbaren Bereich. Im linken Bildrand erkennt man bereits die erneute Kontraktion des zuvor dilatierten, kranialen Ösophagusabschnitts.

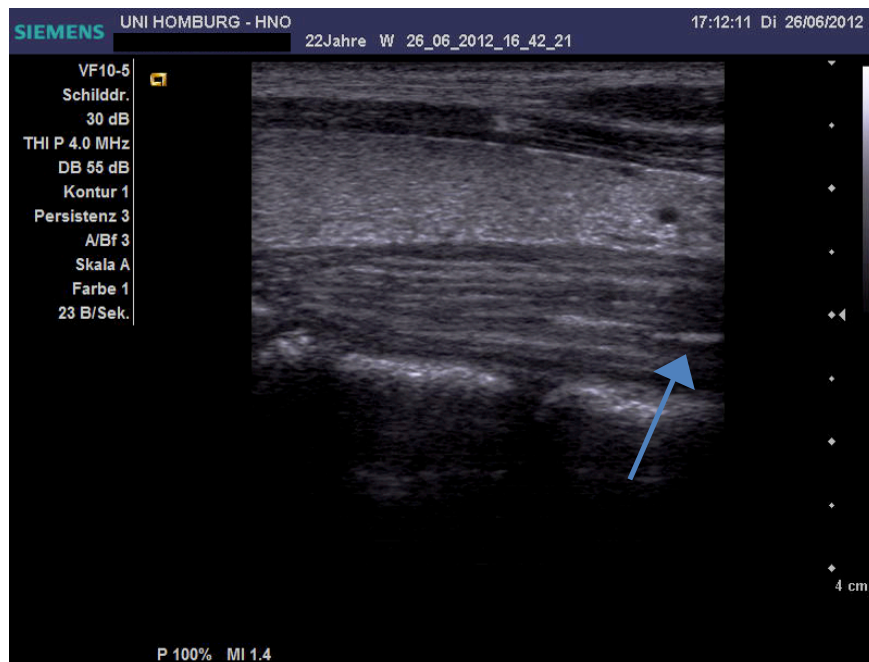


Abbildung 23: Darstellung des Ösophaguslängsschnitts. Ablaufende Kontraktionswellen nach Boluspassage bei noch erkennbarer Aufdehnung der Ösophagmuskulatur. Der Pfeil markiert noch abzutransportierende Speichelbolusreste.

4.1.2 Spritzschluck

Die Abbildung 24 bis Abbildung 28 zeigen exemplarisch in Standbildern die Befunde bei der Ausführung eines Spritzschlucks.

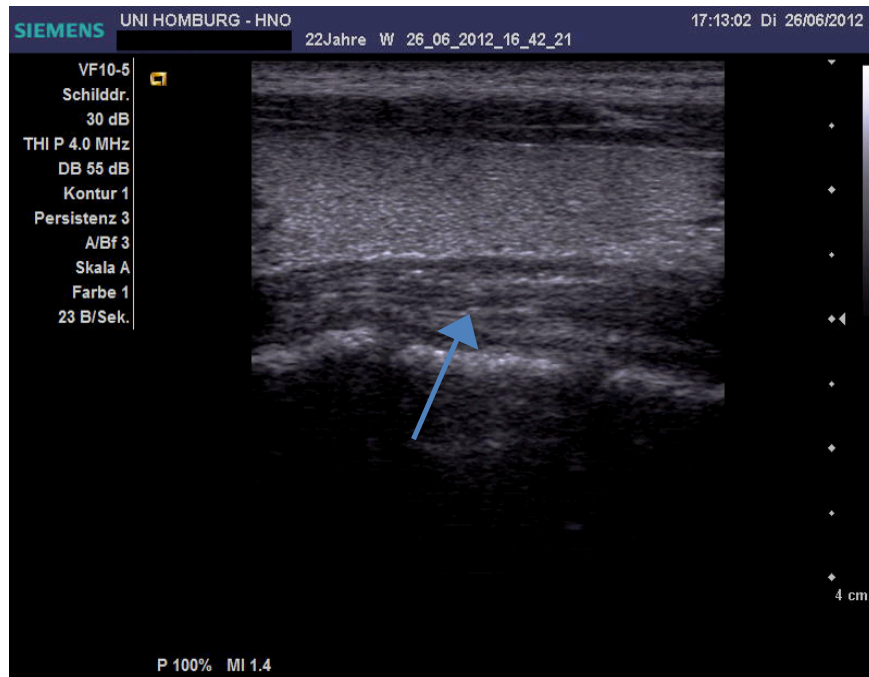


Abbildung 24: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt (Pfeil) nach Rückkehr in ruhige Ausgangslage. Ösophagusmuskulatur relaxiert.

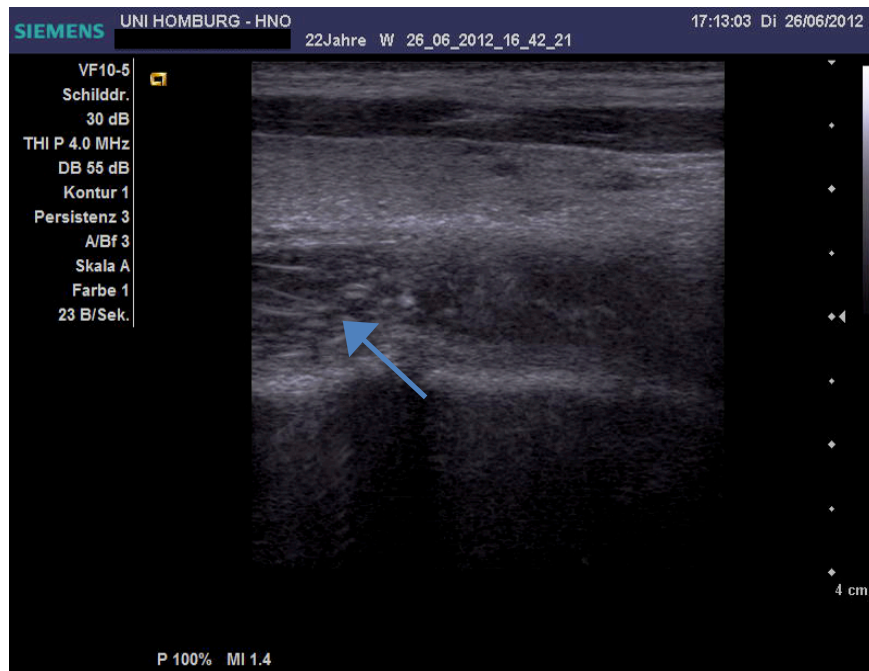


Abbildung 25: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt. Eintritt des Wasserbolus (Pfeil) mit Aufdehnung der Speiseröhre bei raschem Hindurchgleiten.

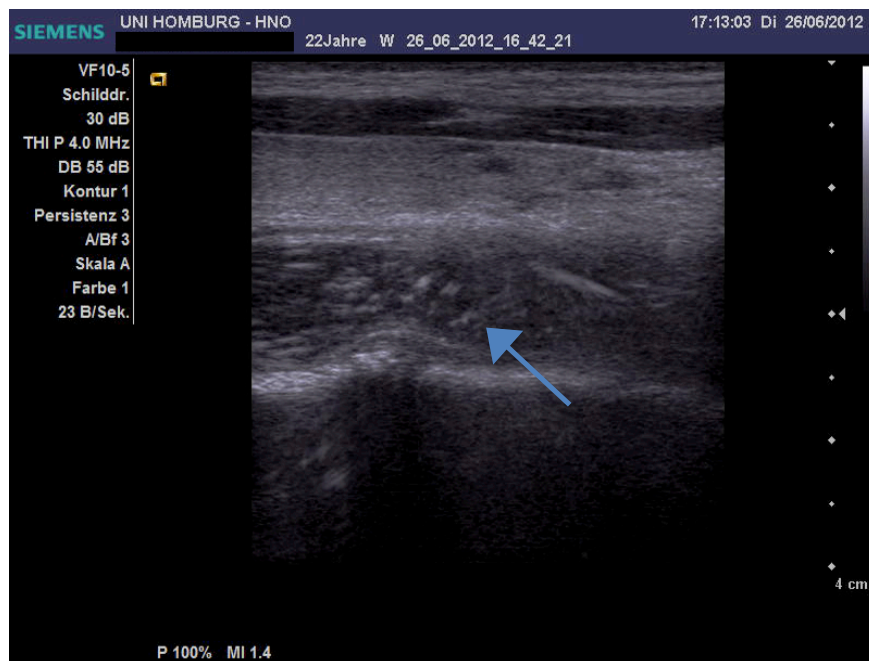


Abbildung 26: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt. Durchtritt des Wasserbolus durch den Ösophagus mit erkennbarer Verwirbelung (Pfeil) des Wasserschlucks.

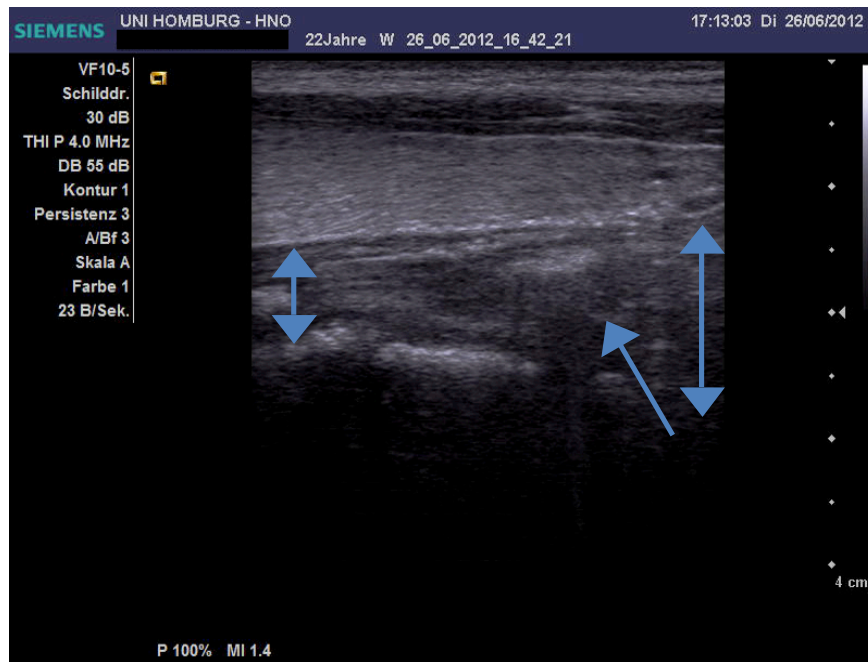


Abbildung 27: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt. Austritt des Wasserbolus (einfacher Pfeil). Im kranialen Speiseröhrenabschnitt im linken Bildrand ist bereits eine erneute Lumenverkleinerung nach abgeschlossener Passage zu erkennen. Die Lumendifferenz soll anhand der beiden Doppelpfeile veranschaulicht werden.

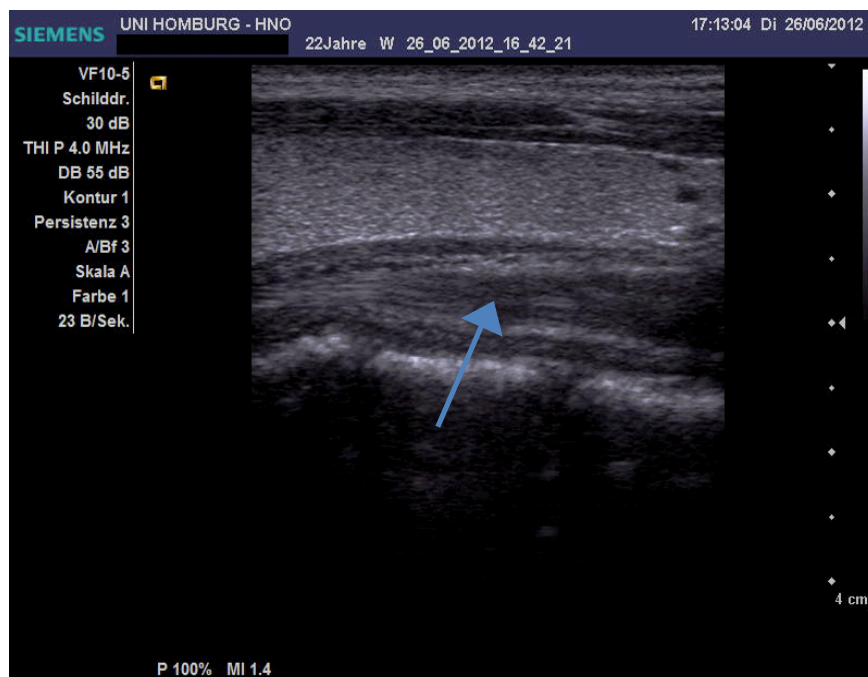


Abbildung 28: Darstellung des Ösophagus (Pfeil) im Längsschnitt nach vollständiger Entleerung des Wassers.

4.1.3 Götterspeise-Schluck

Die Abbildung 29 bis Abbildung 32 zeigen exemplarisch in Standbildern die Befunde der Ausführung eines Götterspeise-Schlucks.

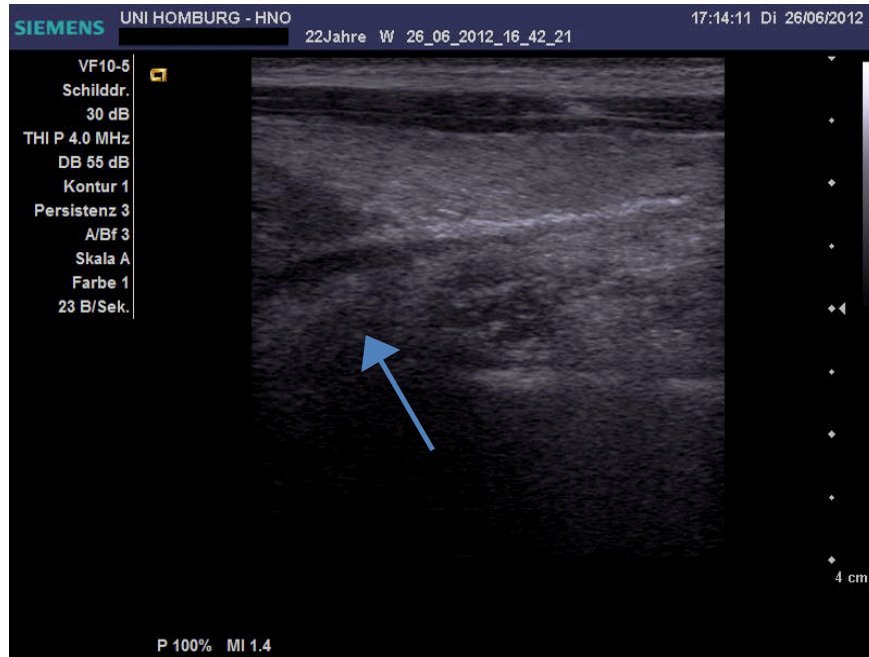


Abbildung 29: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt. Eintritt der Götterspeise (Pfeil) im einsehbaren proximalen Ösophagusabschnitt mit Aufdehnung des Speiseröhrenlumens.

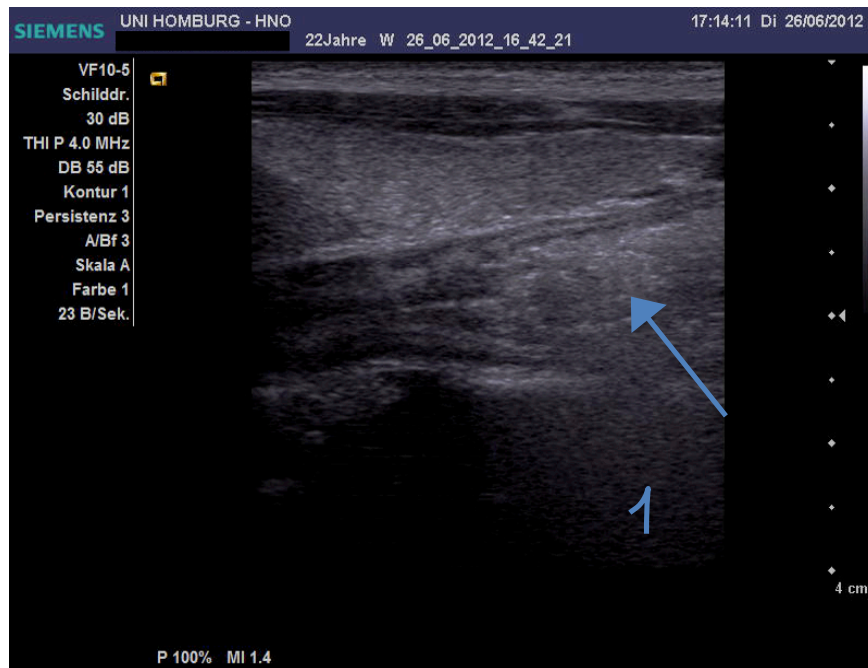


Abbildung 30: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt. Durchtritt des Götterspeise-Bolus (Pfeil). Die Beimengung von Luft sorgt für die dorsale Schallverstärkung im Sinne einer hellen Reflexgebung im unteren rechten Bildrand (1= Luft-Artefakt).

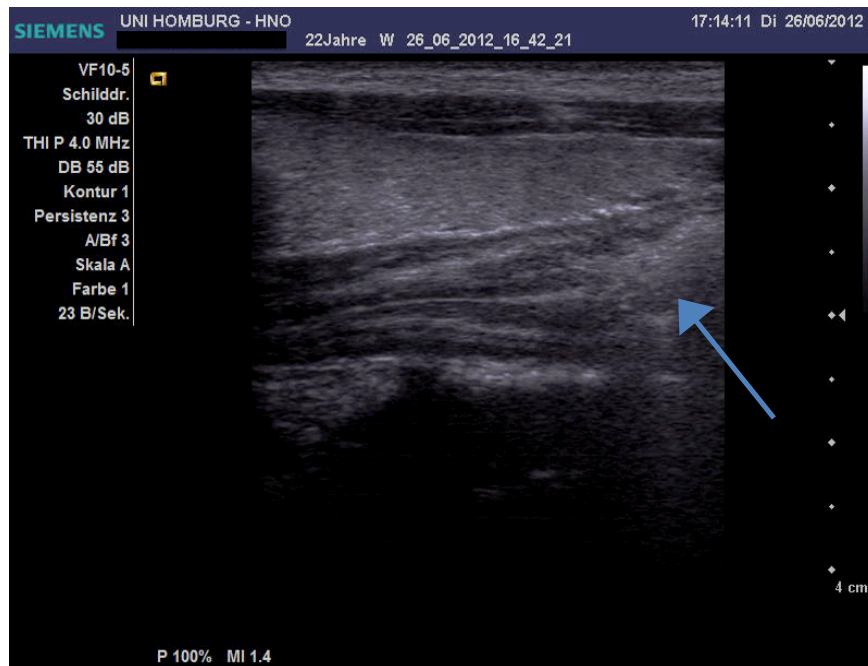


Abbildung 31: Darstellung des Ösophagus im Längsschnitt. Austritt des Götterspeise-Bolus (Pfeil) im rechten Bildrand.

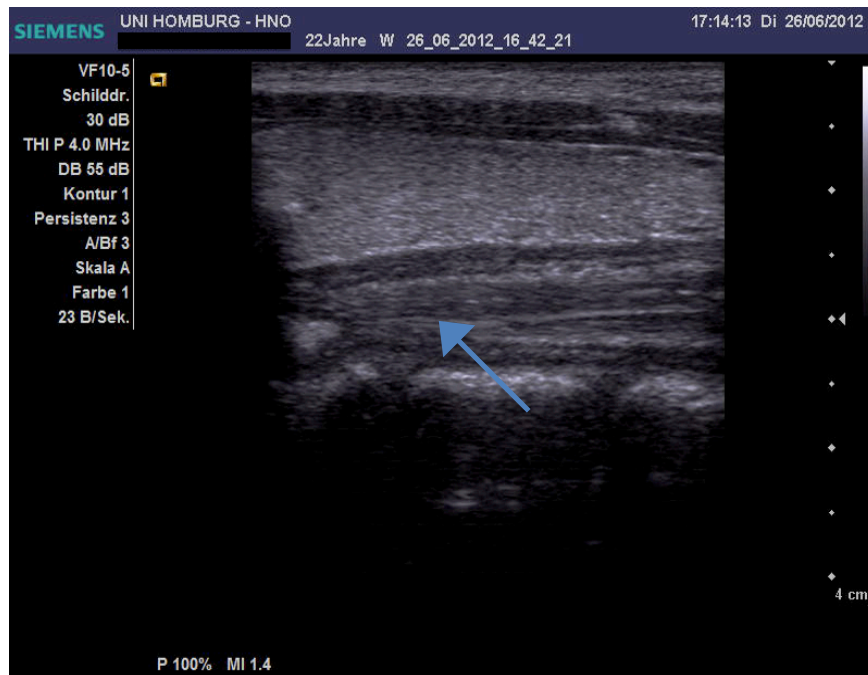


Abbildung 32: Ösophagus Längsschnitt. Kontraktionswellen im Anschluss an die Passage des Götterspeisebolus (Pfeil).

4.2 Deskriptive Darstellung grundlegender Daten

4.2.1 Patientenkollektiv

In die vorliegende Studie konnten Daten von 81 Studienteilnehmern einbezogen werden, welche zwischen April 2012 und Februar 2014 erhoben wurden. Hierunter waren 44 Probanden weiblich (54,3 %) und 37 männlich (45,7 %).

Das mittlere Lebensalter zum Zeitpunkt der Untersuchung lag zwischen 19 und 66 Jahren und betrug im Mittel $32,1 \pm 13,8$ Jahre. Die männlichen Probanden waren mit durchschnittlich $34,1 \pm 14,2$ Jahren geringfügig, aber nicht statistisch signifikant älter als die weiblichen mit einem Altersdurchschnitt von $30,5 \pm 13,3$ Jahren (Mann-Whitney-U-Test, $p = 0,166$).

In einer ähnlichen Größenordnung lag der Unterschied zwischen den Geschlechtern im Hinblick auf den Body-Mass-Index. In der gesamten Studiengruppe wurde für den

BMI ein Mittelwert von $23,7 \pm 3,5 \text{ kg/m}^2$ berechnet. Die männlichen Probanden wiesen einen mittleren BMI von $25,4 \pm 3,1 \text{ kg/m}^2$ auf, die weiblichen einen solchen von $22,2 \pm 3,2 \text{ kg/m}^2$. Wegen der im Fall des BMI sehr viel geringeren Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert wurde der Unterschied der BMI-Mittelwerte zwischen Frauen und Männern als statistisch signifikant berechnet (Mann-Whitney-U-Test, $p < 0,001$).

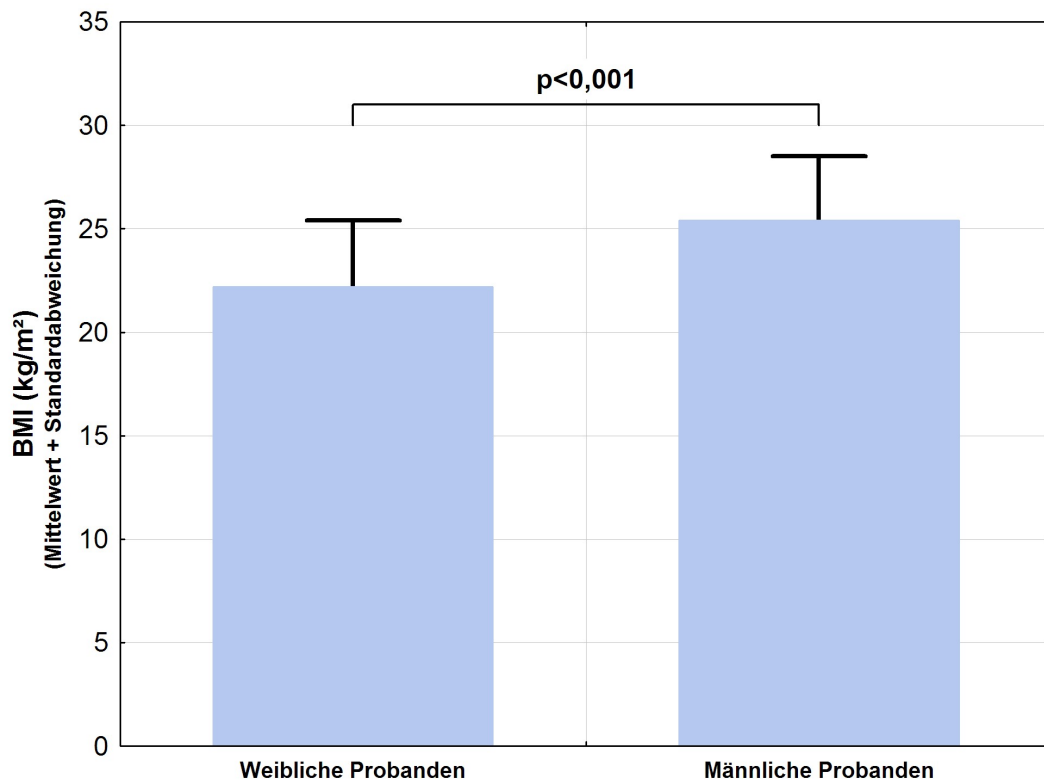


Abbildung 33: Vergleich der erhobenen BMI-Werte bei weiblichen und männlichen Probanden. (Mann-Whitney-U-Test, $p < 0,001$)

Entsprechend war der Anteil der übergewichtigen Probanden ($\text{BMI} \geq 25 \text{ kg/m}^2$) unter den weiblichen Studienteilnehmern mit 18,2 % (8 von 44) deutlich geringer als unter den männlichen mit 46,0 % (17 von 37). Auch dieser Unterschied war als statistisch signifikant zu klassifizieren (exakter Fisher-Test, $p = 0,009$).

4.2.2 Darstellbarkeit und Dimensionen anatomischer Strukturen

Bei jedem Probanden wurde die Darstellbarkeit verschiedener anatomischer Strukturen im Ultraschall dokumentiert. Diese Strukturen waren Zungengrund, intralaryngeale Strukturen, Sinus piriformis/Hypopharynx, Schilddrüse, Wirbelsäule sowie Ösophagus im Quer- und Längsschnitt und dessen Wandschichten.

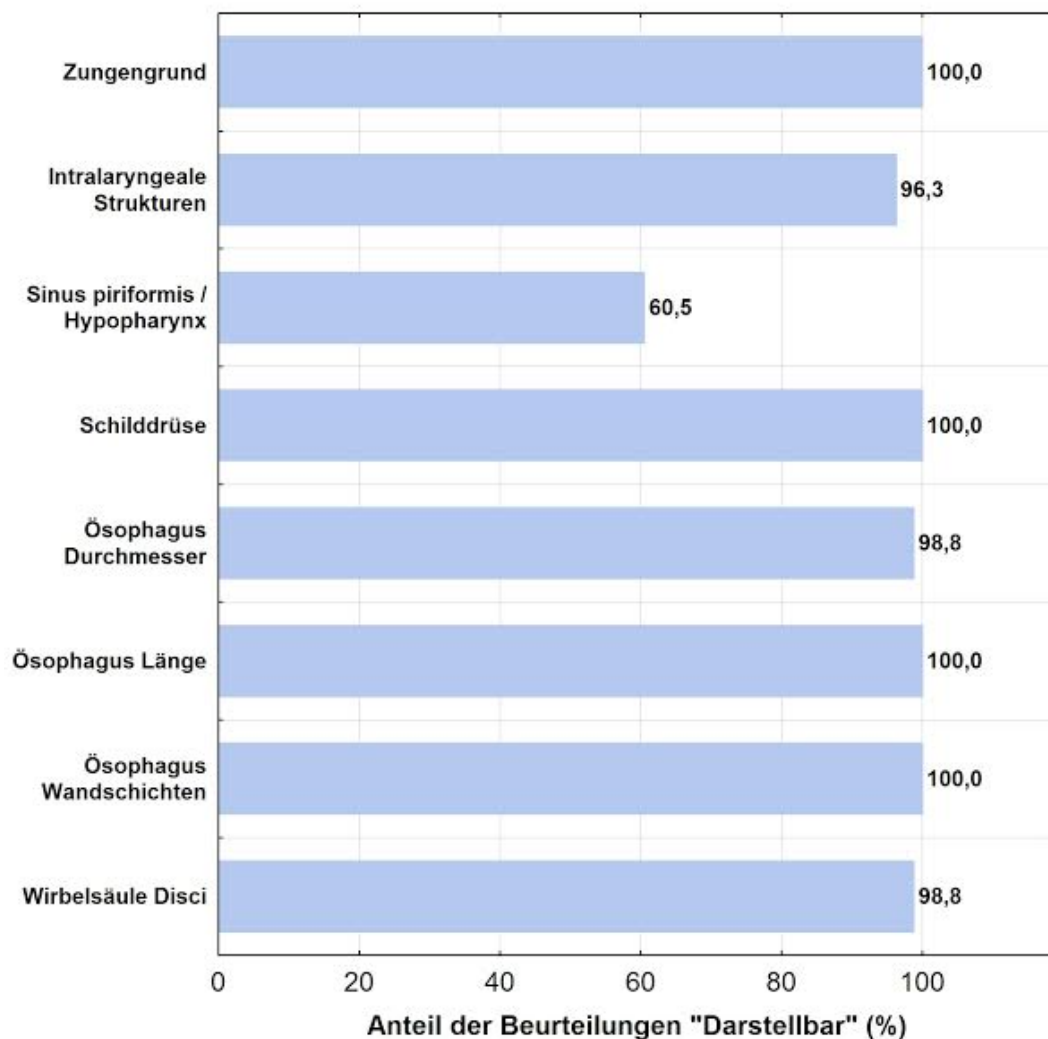


Abbildung 34: Anteil der Beurteilungen „Sonographisch darstellbar“. Auf der x-Achse ist die sonographische Darstellbarkeit in Prozent angegeben, auf der y-Achse sind die entsprechend zu untersuchenden anatomischen Strukturen gelistet. Es zeigt sich eine eingeschränkte Darstellbarkeit des Sinus piriformis/Hypopharynx mit im Vergleich zu den untersuchten Probanden (n= 81) 60%igem Erfolg.

Die Abbildung 34 zeigt den Anteil der Fälle, bei denen eine Darstellung dieser Strukturen möglich war. Für 7 der 8 unterschiedlichen Beurteilungsregionen gelang die sonographische Darstellung (nahezu) vollständig. Lediglich der Sinus piriformis

war bei einer größeren Anzahl von Studienteilnehmern sonographisch nicht zu erkennen. Hier war eine Darstellbarkeit lediglich in 60,5 % der Fälle (49 von 81) gegeben.

Die deskriptiven Kenngrößen der Messwerte der untersuchten Schilddrüsen sind in Tabelle 2 veranschaulicht. Die dort angegebenen Werte für die Volumina des rechten und linken Schilddrüsenlappens wurden durch die Näherungsformel $Volumen = Höhe \times Breite \times Tiefe \times 0,5$ abgeschätzt. [47] Das Gesamtvolumen wurde als Summe des rechten und linken Lappens berechnet.

Dieses Gesamtvolumen ergab im Mittel $9,7 \pm 3,9$ ml. Legt man als Normwerte des Schilddrüsenvolumens den Bereich von 12-25 ml bei Männern und 10-18 ml bei Frauen fest [48], dann fallen lediglich 22 der 81 untersuchten Schilddrüsen in diesen Bereich des Normalbefundes (27,2 %). Unter den männlichen Probanden war dieser Anteil mit 37,8 % (14 von 37) deutlich größer als unter den weiblichen Probanden mit 18,2 % (8 von 44). Der Unterschied war knapp nicht statistisch signifikant ($p = 0,078$).

Tabelle 2: Deskriptive Kenngrößen der erhobenen Parameter zur Größe der Schilddrüse für alle 81 Probanden der Studie. MW= Mittelwert, Min= Minimum, Max= Maximum

Parameter	MW \pm Standardabweichung	Min - Max
Schilddrüsenlappen links: Höhe (mm)	13,0 \pm 3,1	6 - 19
Schilddrüsenlappen links: Breite (mm)	15,7 \pm 2,7	10 - 22
Schilddrüsenlappen links: Tiefe (mm)	40,9 \pm 6,8	18 - 59
Schilddrüsenlappen links: Volumen (ml)	4,3 \pm 1,9	0,7 - 8,9
Schilddrüsenlappen rechts: Höhe (mm)	14,3 \pm 2,9	8 - 20
Schilddrüsenlappen rechts: Breite (mm)	16,9 \pm 3,1	11 - 25
Schilddrüsenlappen rechts: Tiefe (mm)	42,6 \pm 6,2	22 - 66
Schilddrüsenlappen rechts: Volumen (ml)	5,4 \pm 2,3	1,2 - 14,0
Schilddrüsen-Volumen gesamt (ml)	9,7 \pm 3,9	1,9 - 22,9

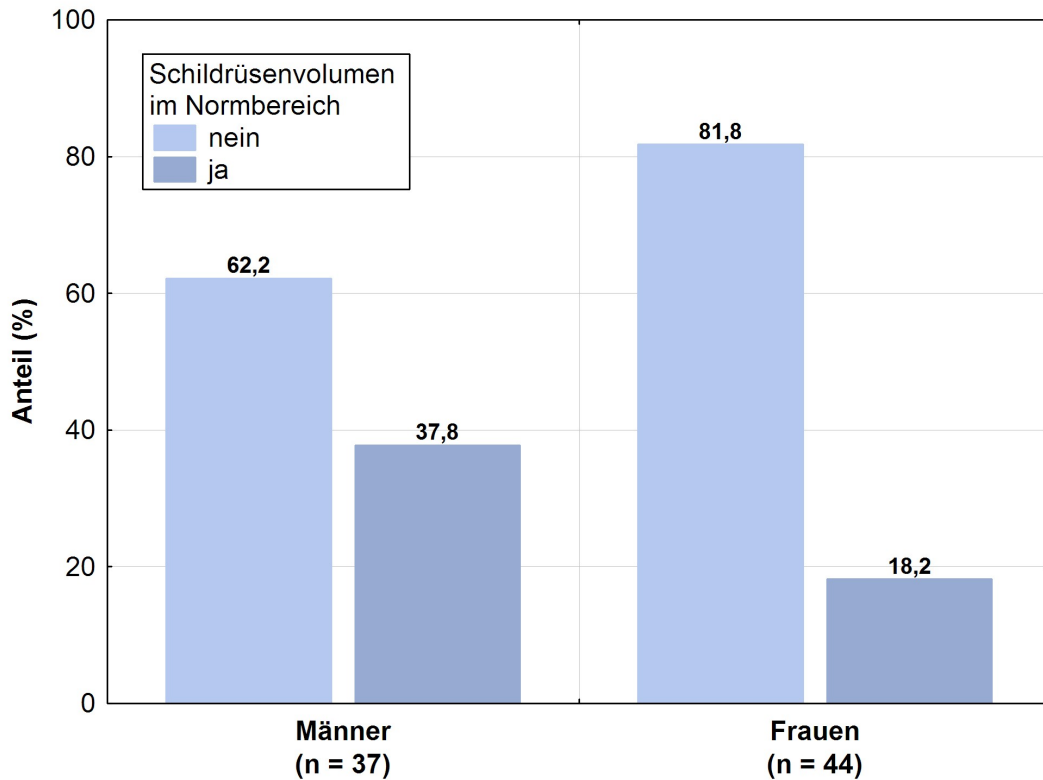


Abbildung 35: Gegenüberstellung der 81 Studienteilnehmer nach dem Geschlecht zur Veranschaulichung, wieviel Prozent der Männer und Frauen mit ihrem Schilddrüsengesamtvolumen innerhalb bzw. außerhalb des definierten Normbereiches lagen. Lediglich 18,2% (8 von 44) der weiblichen Teilnehmer fielen unter den definierten Normbereich, wohingegen die männlichen Probanden mit 37,8% (14 von 37) einen höheren Anteil am Schilddrüsen-Normalvolumen erreichten.

Die Kenngrößen der Messwerte zur Größe von Zungengrund und Ösophagus für die 81 untersuchten Probanden sind in Tabelle 3 dargestellt. Die dort angegebenen Werte für das Volumen des Zungengrunds sind als Produkt aus Länge, Breite und Höhe berechnet.

Für 5 Probanden (6,2 %) konnten 2 Wandschichten des Ösophagus, für die übrigen 76 Probanden (93,8 %) dagegen alle drei Wandschichten des Ösophagus dargestellt werden. Die Messwerte für Querschnitt und Länge des Ösophagus beziehen sich jeweils auf die im Ultraschall einsehbaren Abschnitte.

Tabelle 3: Deskriptive Kenngrößen der erhobenen Parameter zur Größe des Zungengrundes und des Ösophagus für alle 81 Probanden der Studie. MW= Mittelwert, Min= Minimum, Max= Maximum

Parameter	MW \pm Standardabweichung	Min - Max
Zungengrund Länge (mm)	23,0 \pm 2,7	17 - 31
Zungengrund Breite (mm)	33,7 \pm 2,6	23 - 40
Zungengrund Höhe (mm)	29,3 \pm 5,2	18 - 44
Zungengrund Volumen (ml)	22,9 \pm 6,2	10,9 - 42,6
Ösophagus Anzahl Wandschichten	2,9 \pm 0,2	2 - 3
Ösophagus Durchmesser (cm)	0,88 \pm 0,10	0,68 - 1,10
Ösophagus Länge (mm)	57,8 \pm 16,6	5 - 91

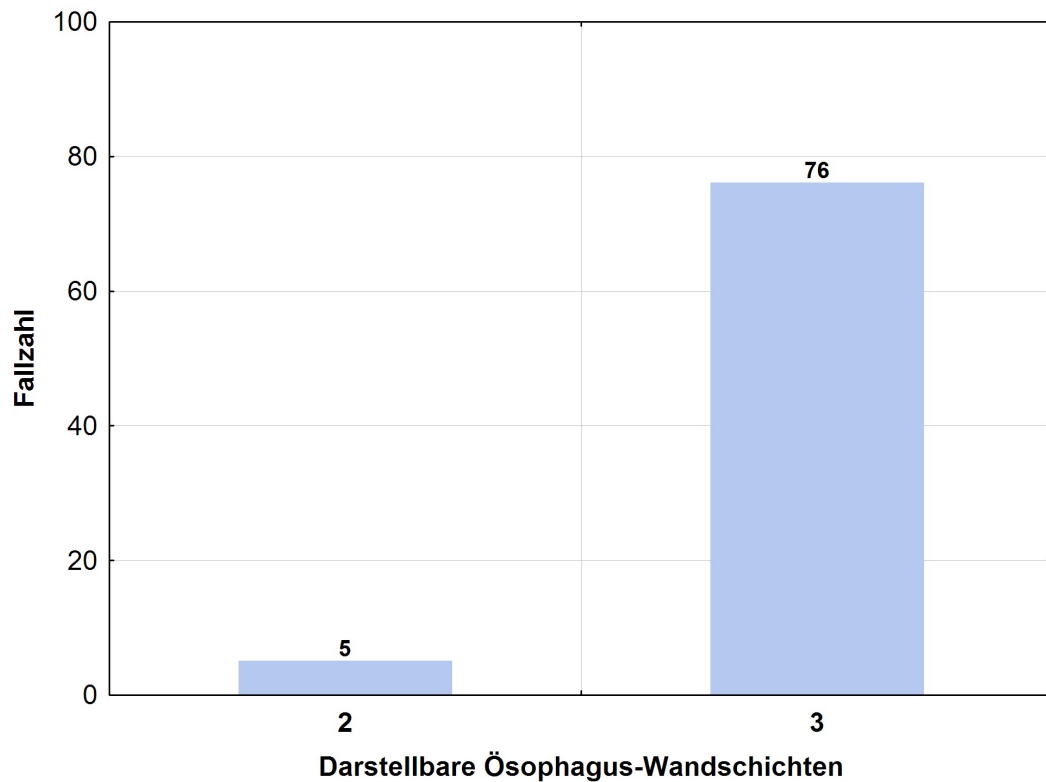


Abbildung 36: Darstellbare Wandschichten des Ösophagus in Bezug auf die 81 untersuchten Probanden. Bei 76 Probanden (93,8%) gelang die Erhebung aller 3 Wandschichten, bei 5 Probanden (6,2%) nur die Darstellung von 2 Wandschichten.

4.2.3 Schluckakte

Für jeden Probanden wurden drei Schluckakte aufgezeichnet: ein „Leerschluck“ (Schluckakt 1), bei dem lediglich Speichel geschluckt wurde, ein „Spritzschluck“ mit stillem Wasser (Schluckakt 2) sowie das Herunterschlucken von einem Löffel Götterspeise (Schluckakt 3). Aufgezeichnet wurden dabei die Dauer der Larynxelevation und die Dauer des Schluckaktes per se (jeweils in Sekunden) im sonographisch einsehbaren Abschnitt. Die Schluckgeschwindigkeit wurde aus der Division von Schluckaktdauer und Streckenlänge der Aufzeichnung bestimmt. Die Kennwerte für Zeiten, Strecken und Geschwindigkeiten der drei Schluckakte sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Die mittlere Dauer der Larynxelevation lag zwischen 0,58 Sekunden (Spritzschluck) und 0,74 Sekunden (Leerschluck), wobei individuell erhebliche Differenzen zu verzeichnen waren, die in den Minima und Maxima in Tabelle 4 erkennbar sind. Die mittlere Schluckgeschwindigkeit war für den Spritzschluck und den Schluckakt 3 mit knapp 3 cm/s sehr ähnlich. Der Leerschluck wies dagegen mit durchschnittlich 4,6 cm/s eine höhere Geschwindigkeit auf. Auch hier waren für alle drei Schluckakte erhebliche individuelle Unterschiede erkennbar, die beim Leerschluck und beim Spritzschluck ungefähr um den Faktor 5 auseinander lagen und beim Schluckakt 3 etwa um den Faktor 10.

Tabelle 4: Deskriptive Kenngrößen der erhobenen Schluckaktparameter für alle 81 Probanden der Studie. MW= Mittelwert, Min= Minimum, Max= Maximum

Parameter	MW ± Standardabweichung	Min - Max
Schluckakt 1 Dauer Larynxelevation (s)	0,74 ± 0,30	0,17 - 1,50
Schluckakt 1 Dauer (s)	0,92 ± 0,29	0,33 - 1,76
Schluckakt 1 Strecke (cm)	3,76 ± 0,62	2,00 - 5,00
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	4,60 ± 1,80	2,15 - 11,11
Schluckakt 2 Dauer Larynxelevation (s)	0,58 ± 0,26	0,13 - 2,10
Schluckakt 2 Dauer (s)	1,57 ± 0,53	0,50 - 2,86
Schluckakt 2 Strecke (cm)	3,96 ± 0,44	3,20 - 5,00
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	2,90 ± 1,35	1,46 - 8,01

Parameter	MW \pm Standardabweichung	Min - Max
Schluckakt 3 Dauer Larynxelevation (s)	0,67 \pm 0,41	0,10 - 3,06
Schluckakt 3 Dauer (s)	1,50 \pm 0,53	0,50 - 3,06
Schluckakt 3 Strecke (cm)	3,93 \pm 0,47	2,00 - 5,00
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	2,99 \pm 1,28	0,94 - 9,01

Der Vergleich der Mittelwerte der Dauer der Larynxelevation ist in Abbildung 37 dargestellt. Ein statistischer Vergleich mittels Friedman-ANOVA ergab ein $p < 0,001$, für den Unterschied zwischen den drei Schluckakten. Dieser war demzufolge statistisch signifikant ($p < 0,05$). Die anschließenden paarweisen Post-Hoc-Vergleiche mit dem Bonferroni-Holm-korrigierten Conover-Test zeigten statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Schluckakten 1 und 2 ($p < 0,001$) sowie 1 und 3 ($p = 0,049$). Der Vergleich zwischen den Schluckakten 2 und 3 ergab knapp kein signifikantes Resultat ($p = 0,061$).

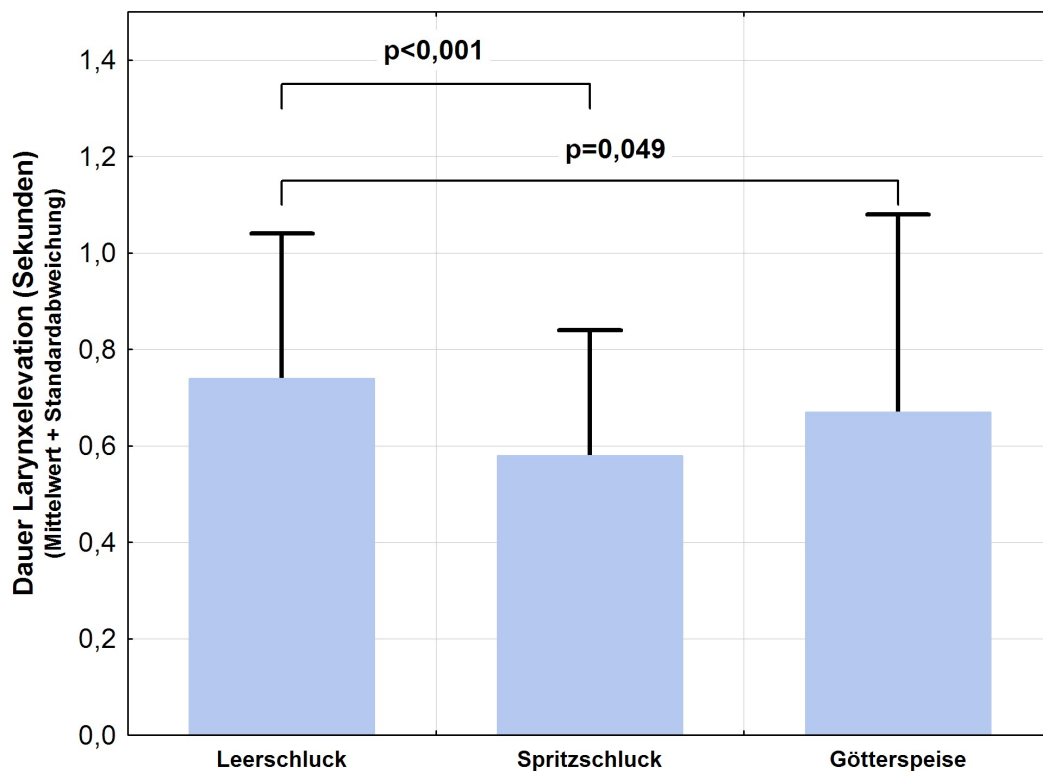


Abbildung 37: Vergleich der mittleren Dauer der Larynxelevation der drei Schluckakte. Zwischen Schluckakt 1 und 2 sowie zwischen Schluckakt 1 und 3 finden sich statistisch signifikante Unterschiede im Hinblick auf die Larynxelevationszeit.

Die Abbildung 38 enthält die entsprechende Darstellung für den Vergleich der Mittelwerte der Schluckgeschwindigkeiten. Auch hierfür wurde mittels Friedman-Test

ein $p < 0,001$ berechnet. Die Post-Hoc-Vergleiche zeigten statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Schluckakten 1 und 2 ($p < 0,001$), 1 und 3 ($p < 0,001$) sowie 2 und 3 ($p = 0,040$).

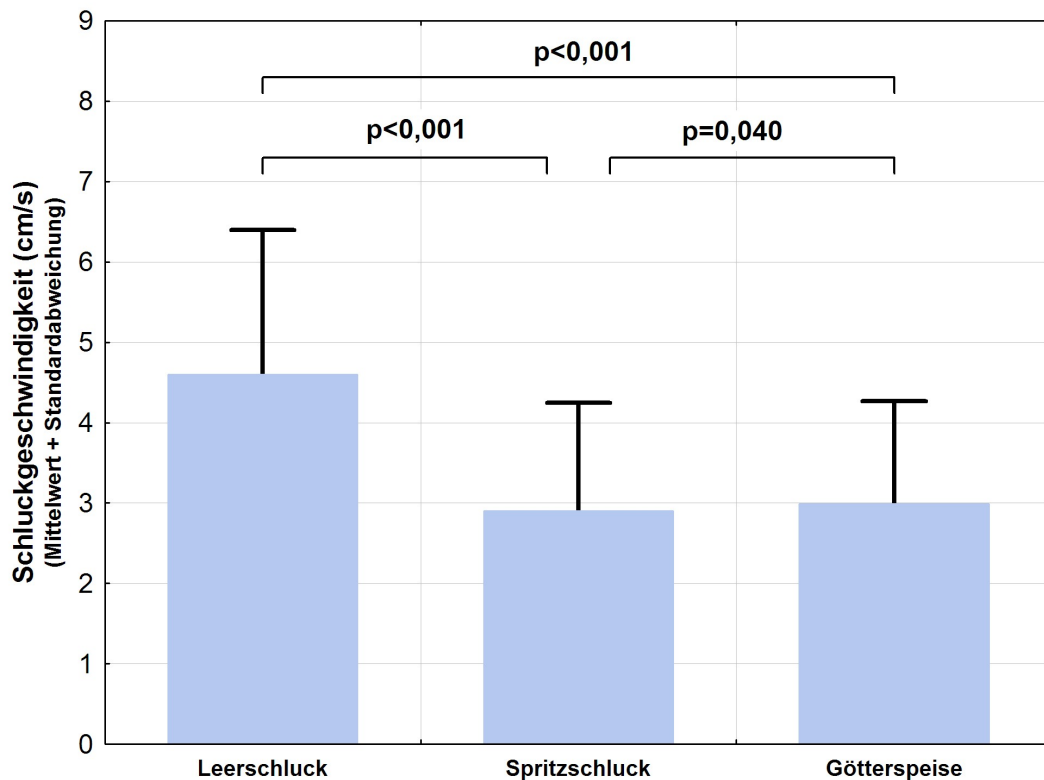


Abbildung 38: Vergleich der mittleren Schluckgeschwindigkeit der drei Schluckakte. Zwischen Schluckakt 1 und 2, 1 und 3 sowie 2 und 3 finden sich statistisch signifikante Unterschiede im Hinblick auf die Schluckgeschwindigkeit.

4.3 Einflüsse von Alter, BMI und Geschlecht auf die Darstellbarkeit anatomischer Strukturen

Die sonographisch untersuchten anatomischen Strukturen ließen sich grösstenteils bei allen Probanden sehr gut darstellen. Lediglich der Sinus piriformis war, wie unter Kap. 4.2.2 berichtet, bei mehr als 30 Probanden sonographisch nicht einsehbar. Hierbei misslang in 32 von 81 Fällen (39,5 %) die Darstellbarkeit.

Im Folgenden soll untersucht werden, ob für das Geschlecht, das Alter oder den BMI ein Einfluss auf die Darstellbarkeit des Sinus piriformis nachweisbar ist.

Die folgende Tabelle 5 und Abbildung 39 zeigen den Anteil der darstellbaren bzw. nicht darstellbaren Fälle bei Frauen und Männern. Während für weibliche Probanden eine Darstellbarkeit in 72,7 % (32 von 44) der Fälle gegeben war, lag dieser Anteil für die männlichen Probanden bei lediglich 45,9 % (17 von 37). Dieser Unterschied war mit $p = 0,022$ statistisch signifikant (exakter Fisher-Test).

Tabelle 5: Darstellbarkeit des Sinus piriformis bei männlichen und weiblichen Probanden

	Darstellbarkeit des Sinus piriformis		
	ja	nein	Summe
männlich	17 (45,9 %)	20 (54,1 %)	37
weiblich	32 (72,7 %)	12 (27,3 %)	44
Summe	49	32	81

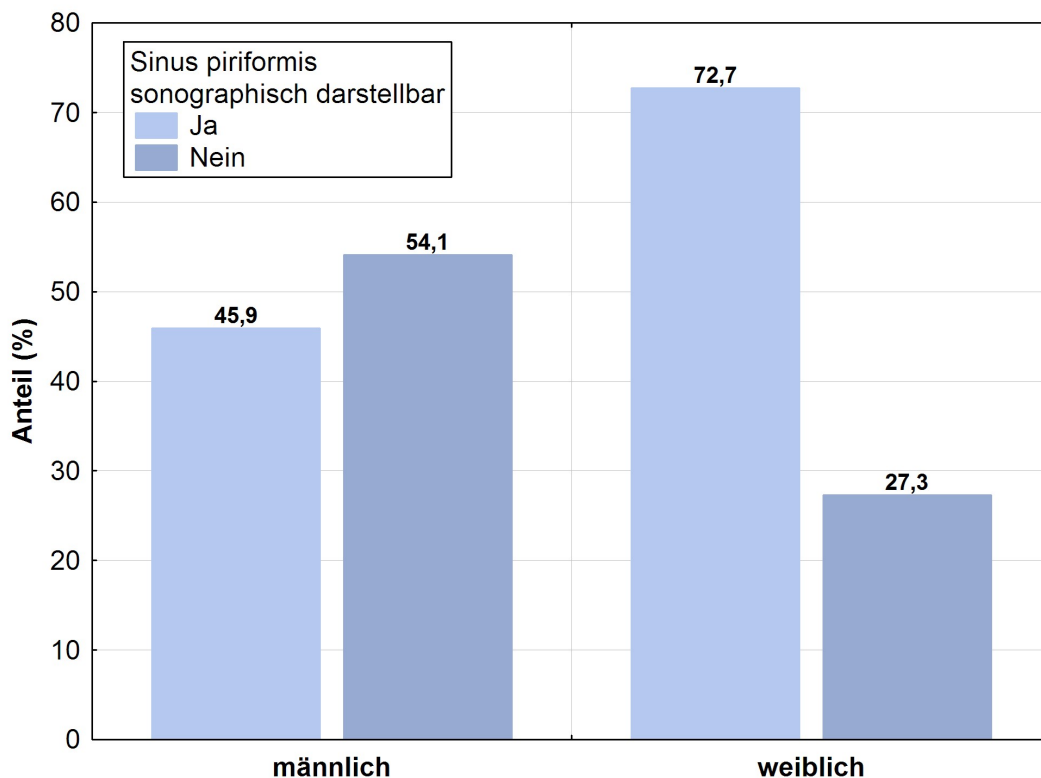


Abbildung 39: Darstellbarkeit des Sinus piriformis bei männlichen und weiblichen Probanden. Bei den weiblichen Probanden gelang die Darstellbarkeit in signifikant höherem Masse als bei männlichen Probanden (exakter Fisher-Test, $p < 0,022$).

Ebenso deutlich war der Einfluss des Lebensalters bzw. des BMI auf die Darstellbarkeit des Sinus piriformis. Aus Tabelle 6 und Abbildung 40 geht hervor, dass bei jüngeren Probanden und Probanden mit Normalgewicht die Darstellbarkeit in einem weitaus höheren Maße gegeben war als bei älteren und übergewichtigen.

Für Studienteilnehmer unter 25 Jahren betrug der Anteil der darstellbaren Fälle 85,7 % (36 von 42), für Probanden über 25 Jahren dagegen nur 33,3 % (13 von 39, $p < 0,001$, exakter Fisher-Test). Bei normalgewichtigen Studienteilnehmern war der Sinus piriformis in 75,0 % der Fälle darstellbar (42 von 56), bei übergewichtigen dagegen in nur 28,0 % (7 von 25, $p < 0,001$; exakter Fisher-Test). Dies ist in Abbildung 41 veranschaulicht.

Tabelle 6: Sonographische Darstellbarkeit des Sinus piriformis in Abhängigkeit von Alter und BMI der untersuchten Probanden

Alter	Darstellbarkeit des Sinus piriformis		
	ja	nein	Summe
unter 25 Jahre	36 (85,7 %)	6 (14,3 %)	42
25 und älter	13 (33,3 %)	26 (66,7 %)	39
Summe	49	32	81
BMI			
	ja	nein	
unter 25 kg/cm ² (normalgewichtig)	42 (75,0 %)	14 (25,0 %)	56
25 und mehr (übergewichtig)	7 (28,0 %)	18 (72,0 %)	25
Summe	49	32	81

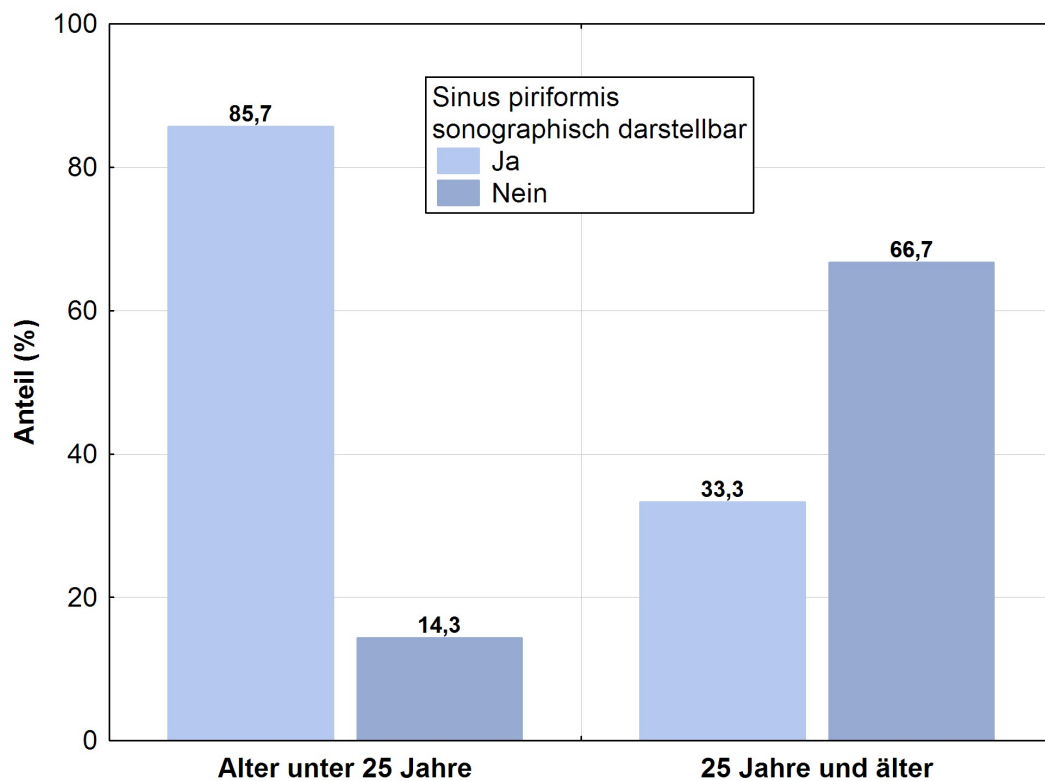


Abbildung 40: Darstellbarkeit des Sinus piriformis/Hypopharynx bei jüngeren und älteren Probanden. Die Darstellbarkeit gelingt in signifikant höherem Masse bei Probanden unter 25 Jahren (exakter Fisher-Test $p < 0,001$).

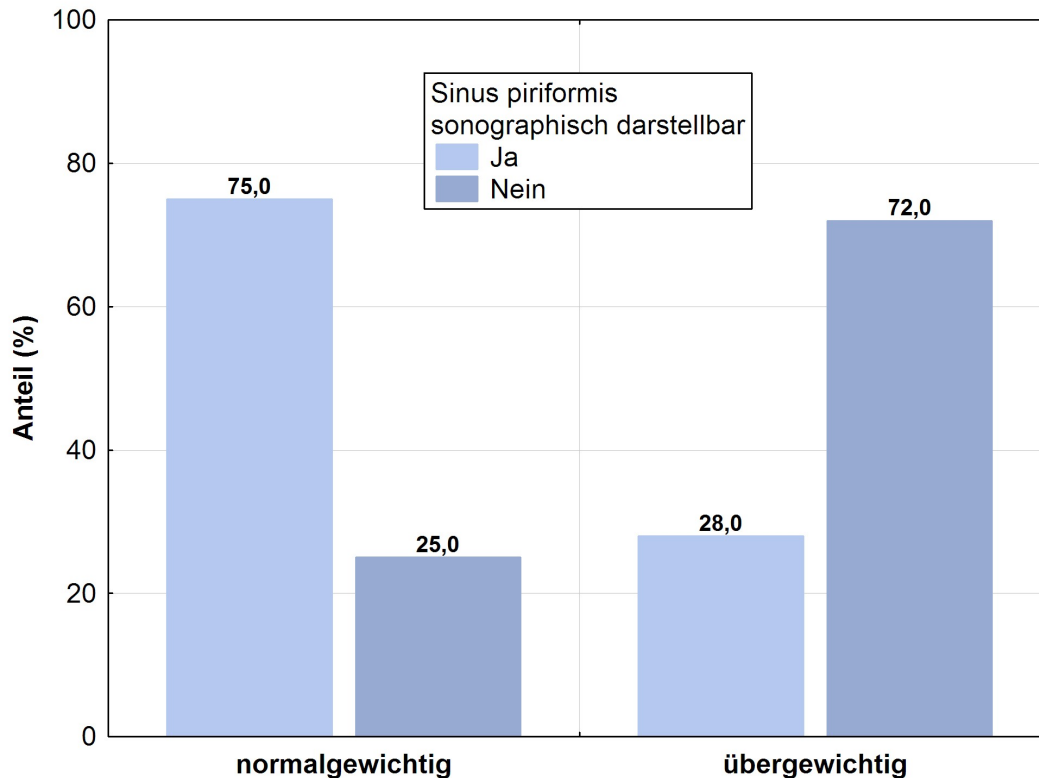


Abbildung 41: Darstellbarkeit des Sinus piriformis bei normal- und übergewichtigen Probanden. Die Darstellbarkeit gelingt in signifikant höherem Masse bei Normalgewichtigen im Vergleich zu übergewichtigen Studienteilnehmern (exakter Fisher-Test $p < 0,001$).

Da die hier untersuchten Einflussfaktoren (Alter, Geschlecht, BMI) nicht als voneinander unabhängig betrachtet werden können (siehe statistisch signifikante BMI-Differenzen zwischen den Geschlechtern), wurde eine zusätzliche multivariate Auswertung mit Hilfe des Verfahrens der logistischen Regression durchgeführt. Tabelle 7 und Abbildung 42 enthalten die Ergebnisse der Berechnungen.

Danach waren Alter und BMI statistisch signifikante Einflussgrößen für die Darstellbarkeit des Sinus piriformis (p jeweils kleiner als 0,05), nicht jedoch das Geschlecht ($p = 0,187$). Die OddsRatio für das Alter wurde mit 11,3 berechnet, bei Probanden unter 25 Jahren war die Chance für eine Darstellbarkeit des Sinus piriformis also um den Faktor 11,3 höher als bei älteren Probanden. Ebenso war die Chance für die Darstellbarkeit bei Normalgewichtigen um den Faktor 5,6 höher als bei Übergewichtigen. Beide Einflüsse sind unter rechnerischer Kontrolle der jeweils anderen in die Auswertung einbezogenen Größen berechnet worden, von diesen also nicht beeinflusst.

Tabelle 7: Multifaktorielle Beziehungen von Alter, Geschlecht und BMI zur Darstellbarkeit des Sinus piriformis

Variable	Odds Ratio	95 %-Konfidenzintervall	p-Wert
Alter unter 25 Jahre 25 und älter	11,3 1 (Referenz)	3,3 – 38,0	<0,001
Geschlecht männlich weiblich	0,45 1 (Referenz)	0,14 – 1,47	0,187
BMI unter 25 kg/m ² 25 und höher	5,6 1 (Referenz)	1,6 – 19,8	0,007

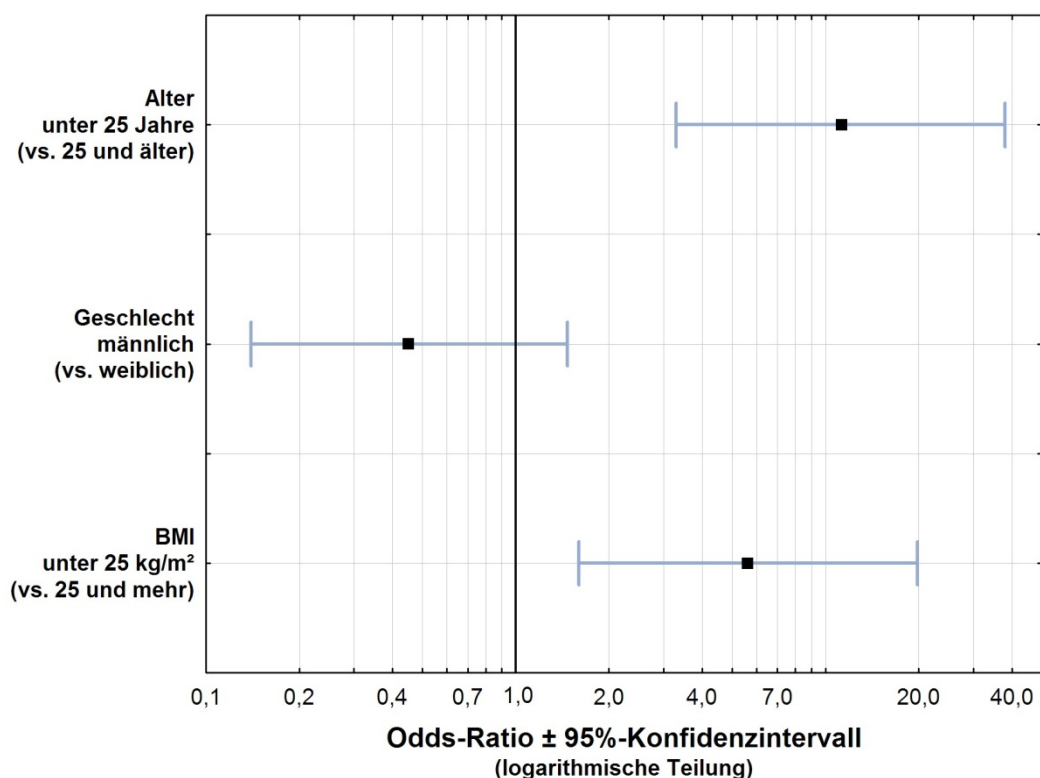


Abbildung 42: OddsRatios für statistisch signifikante Einflussfaktoren auf die Darstellbarkeit des Sinus piriformis in der untersuchten Stichprobe. Es zeigt sich, dass sowohl Alter als auch BMI relevanten Einfluss auf die sonographische Erfassbarkeit des Sinus piriformis nehmen. Die Chance den Sinus piriformis sonographisch zu erfassen, ist bei normalgewichtigen sowie jüngeren Probanden grösser.

4.4 Einflüsse auf die Dimensionen anatomischer Strukturen

Die folgenden Tabellen (Tabelle 7 bis Tabelle 9) zeigen die Gegenüberstellung der im Rahmen dieser Studie sonographisch erhobenen Messwerte für Schilddrüse,

Zungengrund und Ösophagus unter Einfluss des Geschlechts, des Alters und des BMIs.

Angegeben sind jeweils Mittelwert und Standardabweichung der einzelnen Parameter in beiden zu vergleichenden Gruppen, das Minimum und das Maximum sowie das Resultat des Mann-Whitney-U-Tests zum Vergleich der Gruppen.

Insbesondere die Schilddrüsenvolumina sowie die Länge des Ösophagus waren zwischen den Altersgruppen, den Geschlechtern und den Gruppen der Normal- und Übergewichtigen statistisch signifikant unterschiedlich (p jeweils kleiner als 0,05). Dabei wiesen ältere Probanden, Männer und Übergewichtige durchschnittlich höhere Schilddrüsenparameter auf als die entsprechenden Vergleichsgruppen der jüngeren Probanden, Frauen bzw. Normalgewichtigen. Für die Länge des Ösophagus ergaben sich umgekehrt höhere Messwerte bei weiblichen, jüngeren und schlanken Probanden.

Für den Zungengrund fanden sich keine statistisch signifikanten Differenzen zwischen den verschiedenen Gruppen. Die Dimensionen des Zungengrundes waren damit nicht statistisch nachweisbar unterschiedlich zwischen jüngeren und älteren, männlich und weiblichen, normal- und übergewichtigen Probanden.

Tabelle 7: Vergleich jüngerer und älterer Probanden hinsichtlich der deskriptiven Kenngrößen für anatomische Strukturen im Halsbereich. Relevante statistisch signifikante Unterschiede sind blau hinterlegt: bei älteren Probanden ist das Schilddrüsenvolumen grösser, die darstellbare Länge der Speiseröhre jedoch geringer. MW=Mittelwert, SD= Standardabweichung, n= Stichprobenanzahl, Min= Minimum, Max= Maximum

	Alter				
	unter 25 Jahre (n=42)		25 und älter (n=39)		U-Test
	MW±SD	Min/Max	MW±SD	Min/Max	p-Wert
Schilddrüsenlappen links: Volumen (ml)	3,7 ± 1,3	1,3 / 7,8	5,0 ± 2,1	0,7 / 8,9	0,001
Schilddrüsenlappen rechts: Volumen (ml)	4,4 ± 1,5	1,9 / 8,0	6,4 ± 2,6	1,2 / 14,0	< 0,001
Schilddrüsen-Volumen gesamt (ml)	8,1 ± 2,6	3,5 / 15,7	11,4 ± 4,4	1,9 / 22,9	< 0,001
Zungengrund Volumen (ml)	23,4 ± 6,8	14,8 / 40,5	22,3 ± 5,5	10,9 / 42,6	0,996
Ösophagus Anzahl Wandschichten	3,0 ± 0,2	2,0 / 3,0	2,9 ± 0,3	2,0 / 3,0	0,544
Ösophagus Durchmesser (cm)	0,87 ± 0,09	0,69 / 1,09	0,90 ± 0,10	0,68 / 1,1,	0,089
Ösophagus Länge (mm)	65,2 ± 10,9	32,0 / 91,0	49,7 ± 18,1	5,0 / 85,0	< 0,001

Tabelle 8: Vergleich männlicher und weiblicher Probanden hinsichtlich der deskriptiven Kenngrößen für anatomische Strukturen im Halsbereich. Relevante statistisch signifikante Unterschiede sind blau hinterlegt: das Schilddrüsenvolumen ist bei männlichen Probanden grösser als bei weiblichen, die erfassbare Speiseröhrenlänge hingegen bei Männern geringer. MW=Mittelwert, SD= Standardabweichung, n= Stichprobenanzahl, Min= Minimum, Max= Maximum

	Geschlecht				
	männlich (n=37)		weiblich (n=44)		U-Test
	MW±SD	Min/Max	MW±SD	Min/Max	p-Wert
Schilddrüsenlappen links: Volumen (ml)	5,1 ± 1,8	1,7 / 8,9	3,7 ± 1,7	0,7 / 8,9	< 0,001
Schilddrüsenlappen rechts: Volumen (ml)	6,3 ± 2,5	1,9 / 14,0	4,6 ± 1,9	1,2 / 9,4	0,001
Schilddrüsen-Volumen gesamt (ml)	11,4 ± 4,1	3,7 / 22,9	8,3 ± 3,3	1,9 / 16,9	< 0,001
Zungengrund Volumen (ml)	24,1 ± 7,4	10,9 / 42,6	21,9 ± 4,8	13,4 / 34,1	0,172
Ösophagus Anzahl Wandschichten	2,9 ± 0,3	2,0 / 3,0	3,0 ± 0,2	2,0 / 3,0	0,512
Ösophagus Durchmesser (cm)	0,92 ± 0,08	0,73 / 1,06	0,85 ± 0,10	0,68 / 1,10	0,002
Ösophagus Länge (mm)	51,1 ± 16,0	5,0 / 85,0	63,4 ± 15,1	24,0 / 91,0	< 0,001

Tabelle 9: Vergleich normal- und übergewichtiger Probanden hinsichtlich der deskriptiven Kenngrößen für anatomische Strukturen im Halsbereich. Relevante statistisch signifikante Unterschiede sind blau hinterlegt: das gemessene Schilddrüsenvolumen ist bei übergewichtigen Probanden grösser, die erfasste Speiseröhrenlänge hingegen geringer als bei Normalgewichtigen. MW=Mittelwert, SD= Standardabweichung, n= Stichprobenanzahl, Min= Minimum, Max= Maximum

	BMI				
	unter 25 kg/m² (n=56)		25 und mehr (n=25)		U-Test
	MW±SD	Min/Max	MW±SD	Min/Max	p-Wert
Schilddrüsenlappen links: Volumen (ml)	3,9 ± 1,5	1,3 / 7,8	5,3 ± 2,3	0,7 / 8,9	0,001
Schilddrüsenlappen rechts: Volumen (ml)	5,0 ± 1,9	1,9 / 11,4	6,3 ± 2,9	1,2 / 14,0	0,023
Schilddrüsen-Volumen gesamt (ml)	8,9 ± 3,2	3,5 / 18,5	11,6 ± 4,9	1,9 / 22,9	0,004
Zungengrund Volumen (ml)	21,9 ± 5,3	13,4 / 36,2	25,0 ± 7,6	10,9 / 42,6	0,046
Ösophagus Anzahl Wandschichten	3,0 ± 0,2	2,0 / 3,0	2,9 ± 0,3	2,0 / 3,0	0,552
Ösophagus Durchmesser (cm)	0,87 ± 0,09	0,69 / 1,09	0,92 ± 0,10	0,68 / 1,10	0,026
Ösophagus Länge (mm)	62,8 ± 13,3	25,0 / 91,0	46,6 ± 18,2	5,0 / 82,0	< 0,001

4.5 Einflüsse von Alter, Geschlecht, BMI und Ösophagusdurchmesser auf die erhobenen Schluckakt-Parameter

4.5.1 Unifaktorielle Auswertung

In ähnlicher Weise wie in Kap. 4.2.3 wurde der Einfluss von Alter, Geschlecht, BMI und Ösophagus-Durchmesser auf die Parameter der drei Schluckakte untersucht.

Um eine einheitliche Form der Auswertung und Darstellung der Resultate zu ermöglichen, wurde die Stichprobe der 81 Probanden hierzu anhand des medianen Ösophagus-Durchmessers (= 9 mm = 0,9 cm) in zwei etwa gleich große Teilgruppen aufgeteilt. In Bezug auf die Gesamtgruppe mit $n = 81$ Teilnehmern wiesen 46 Probanden einen Durchmesser von unter 9 mm auf, 34 Probanden hingegen einen solchen von 9 mm und mehr. Für einen Probanden liess sich der Ösophagusdurchmesser nicht erheben.

Die folgenden Tabellen (Tabelle 10 bis Tabelle 12) zeigen die Resultate der Berechnungen. Die Schluckgeschwindigkeit wurde aus der Division von Schluckaktstrecke und Schluckaktdauer in cm/s bestimmt.

Kein statistisch nachweisbarer Unterschied war zwischen den Altersgruppen hinsichtlich der Dauer der Larynxelation zu verzeichnen. Der Mittelwert der Larynxelation war bei Schluckakt 1 (Leerschluck) für die jüngeren und bei Schluckakt 3 (Götterspeise) für die älteren Probanden etwas größer als für die jeweils andere Gruppe. Beim Schluckakt 2 (Spritzschluck) waren beide Mittelwerte nahezu gleich. Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden (alle $p > 0,05$).

Demgegenüber war die Schluckgeschwindigkeit für Spritzschluck und Götterspeise bei älteren Probanden im Mittel statistisch signifikant höher als bei jüngeren Probanden (Abbildung 43). Für den Spritzschluck wurden im Mittel $2,59 \pm 1,07$ cm/s bei Probanden unter 25 Jahren und $3,25 \pm 1,54$ cm/s bei älteren Probanden gemessen (Mann-Whitney-U-Test, $p = 0,010$). Für das Schlucken der Götterspeise ergab sich bei Probanden unter 25 Jahren im Mittel eine Geschwindigkeit von $2,73 \pm 1,03$ cm/s, für ältere Probanden wurden $3,27 \pm 1,47$ cm/ gemessen (Mann-Whitney-U-Test, $p = 0,035$).

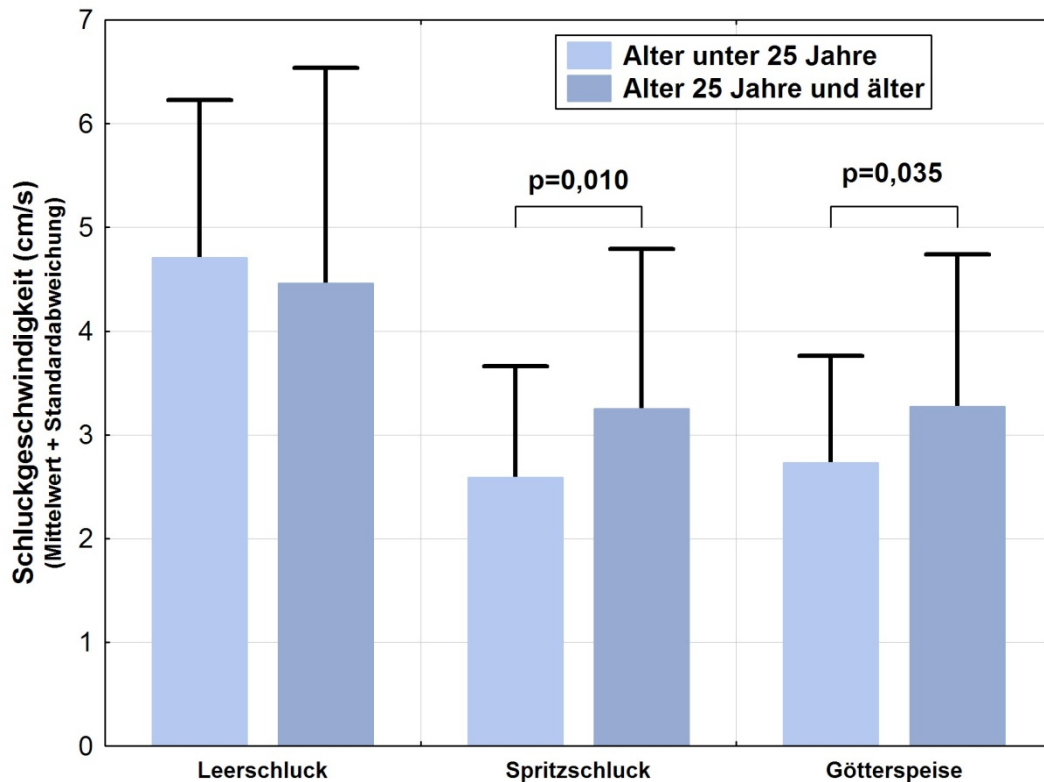


Abbildung 43: Vergleich der mittleren Schluckgeschwindigkeiten der drei Schluckakte zwischen jüngeren und älteren Probanden. Statistisch signifikant höhere Schluckgeschwindigkeiten fanden sich bei älteren Probanden für den Spritz- und Götterspeiseschluck. (Mann-Whitney-U-Test)

Tabelle 10: Vergleich jüngerer und älterer Probanden hinsichtlich der deskriptiven Kenngrößen für die sonographisch ermittelten Parameter der drei Schluckakte. MW=Mittelwert, SD= Standardabweichung, n= Stichprobenanzahl, Min= Minimum, Max= Maximum

		Alter				
		unter 25 Jahre		25 und älter		U-Test
Schluck- akt	Parameter	MW±SD	Min/Max	MW±SD	Min/Max	p-Wert
1	Dauer Larynxelevation (s)	0,78 ± 0,30	0,2 / 1,5	0,69 ± 0,29	0,2 / 1,4	0,186
	Dauer (s)	0,90 ± 0,28	0,4 / 1,6	0,94 ± 0,31	0,3 / 1,8	0,298
	Strecke (cm)	3,87 ± 0,47	2,5 / 5,0	3,65 ± 0,74	2,0 / 4,7	0,112
	Geschwindigkeit (cm/s)	4,71 ± 1,52	2,4 / 9,3	4,46 ± 2,08	2,1 / 11,1	0,101
2	Dauer Larynxelevation (s)	0,58 ± 0,21	0,2 / 1,2	0,59 ± 0,32	0,1 / 2,1	0,852
	Dauer (s)	1,70 ± 0,52	0,6 / 2,9	1,43 ± 0,52	0,5 / 2,5	0,022
	Strecke (cm)	3,95 ± 0,48	3,2 / 5,0	3,97 ± 0,41	3,5 / 5,0	0,557
	Geschwindigkeit (cm/s)	2,59 ± 1,07	1,5 / 6,5	3,25 ± 1,54	1,7 / 8,0	0,010
3	Dauer Larynxelevation (s)	0,59 ± 0,24	0,2 / 1,1	0,75 ± 0,54	0,1 / 3,1	0,236
	Dauer (s)	1,60 ± 0,52	0,5 / 3,1	1,39 ± 0,52	0,5 / 2,8	0,032
	Strecke (cm)	3,93 ± 0,38	3,7 / 4,8	3,94 ± 0,55	2,0 / 5,0	0,840
	Geschwindigkeit (cm/s)	2,73 ± 1,03	1,3 / 6,9	3,27 ± 1,47	0,9 / 9,0	0,035

Der Vergleich der Geschlechter hinsichtlich der Schluckakt-Parameter zeigte statistisch nachweisbare Differenzen (außer für die Hilfsgrößen) nur für die Schluckgeschwindigkeit beim Schluckakt 3 (Götterspeise). Diese war für männliche Probanden mit durchschnittlich $3,51 \pm 1,38$ cm/s höher als für weibliche Probanden ($2,56 \pm 1,03$ cm/s, Mann-Whitney-U-Test, $p < 0,001$). Auch die Schluckgeschwindigkeiten des Leer- und des Spritzschlucks waren bei Männern im Mittel höher als bei Frauen. Die Stichprobengröße reichte hier für den Nachweis der statistischen Signifikanz der Unterschiede allerdings nicht aus ($p > 0,05$).

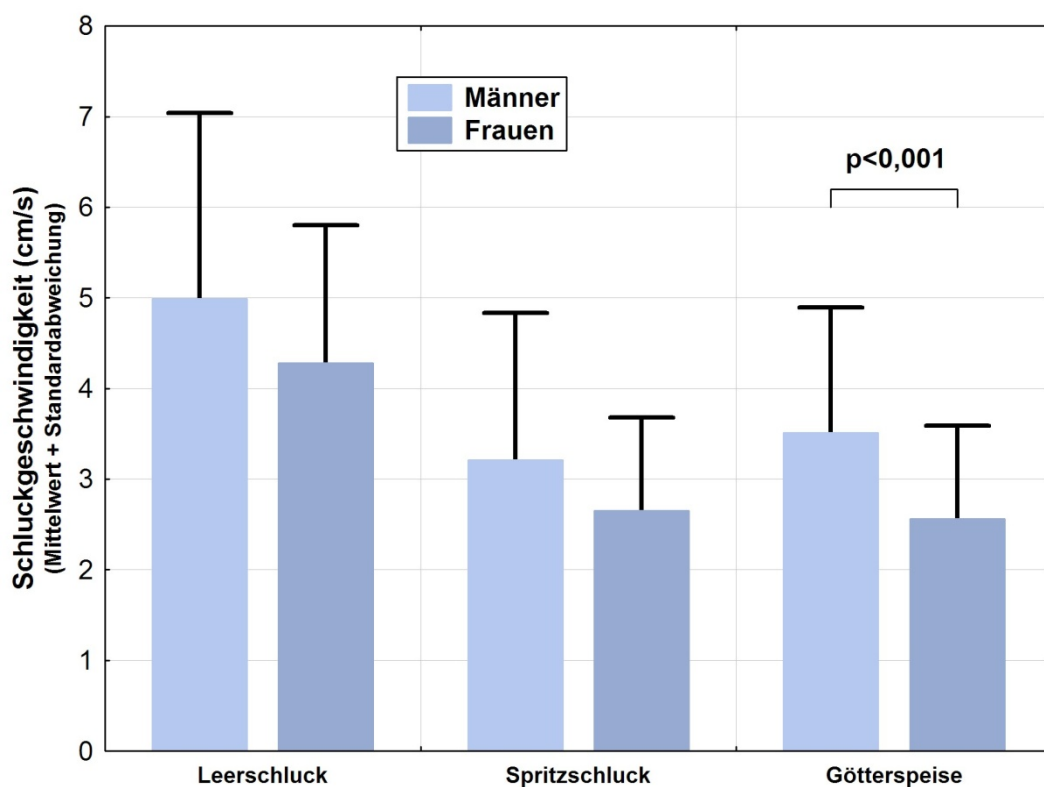


Abbildung 44: Vergleich der mittleren Schluckgeschwindigkeiten der drei Schluckakte zwischen männlichen und weiblichen Probanden. Ein statistisch signifikanter Unterschied fand sich für den Götterspeise-Schluck, wobei Männer signifikant schneller schluckten (Mann-Whitney-U-Test $p < 0,001$).

Tabelle 11: Vergleich männlicher und weiblicher Probanden hinsichtlich der deskriptiven Kenngrößen für die sonographisch ermittelten Parameter der drei Schluckakte. MW=Mittelwert, SD= Standardabweichung, n= Stichprobenanzahl, Min= Minimum, Max= Maximum

		Geschlecht				
		männlich		weiblich		Mann-Whitney-U-Test
Schluck-akt	Parameter	MW±SD	Min/Max	MW±SD	Min/Max	p-Wert
1	Dauer Larynxelevation (s)	0,74 ± 0,29	0,2 / 1,4	0,74 ± 0,31	0,2 / 1,5	0,996
	Dauer (s)	0,84 ± 0,30	0,3 / 1,8	0,98 ± 0,27	0,3 / 1,6	0,013
	Strecke (cm)	3,63 ± 0,68	2,0 / 5,0	3,88 ± 0,55	2,5 / 5,0	0,126
	Geschwindigkeit (cm/s)	4,99 ± 2,05	2,6 / 10,5	4,28 ± 1,52	2,1 / 11,1	0,208
2	Dauer Larynxelevation (s)	0,61 ± 0,33	0,2 / 2,1	0,56 ± 0,19	0,1 / 1,2	0,769
	Dauer (s)	1,49 ± 0,60	0,5 / 2,9	1,63 ± 0,47	0,6 / 2,5	0,194
	Strecke (cm)	3,99 ± 0,46	3,5 / 5,0	3,93 ± 0,43	3,2 / 5,0	0,634
	Geschwindigkeit (cm/s)	3,21 ± 1,62	1,6 / 8,0	2,65 ± 1,03	1,5 / 6,7	0,110
3	Dauer Larynxelevation (s))	0,66 ± 0,47	0,3 / 3,1	0,68 ± 0,36	0,1 / 2,1	0,333
	Dauer (s)	1,23 ± 0,37	0,5 / 2,0	1,72 ± 0,53	0,5 / 3,1	< 0,001
	Strecke (cm)	3,90 ± 0,40	3,2 / 4,8	3,97 ± 0,52	2,0 / 5,0	0,297
	Geschwindigkeit (cm/s)	3,51 ± 1,38	1,9 / 9,0	2,56 ± 1,03	0,9 / 6,9	< 0,001

Auch der Vergleich der mittleren Schluckgeschwindigkeiten bei normal- und übergewichtigen Probanden ergab eine deutliche Tendenz. Diejenigen mit einem BMI über 25 kg/m² wiesen im Mittel höhere Schluckgeschwindigkeiten auf als die Studienteilnehmer mit BMI-Werten bis maximal 25 kg/m². Als statistisch signifikant konnte hier der Unterschied zwischen beiden Gruppen für die Schluckgeschwindigkeit beim Spritzschluck (Schluckakt 2) nachgewiesen werden (unter 25 kg/m²: 2,73 ± 1,24 cm/s; ab 25 kg/m²: 3,30 ± 1,54 cm/s; Mann-Whitney-U-Test, p = 0,026).

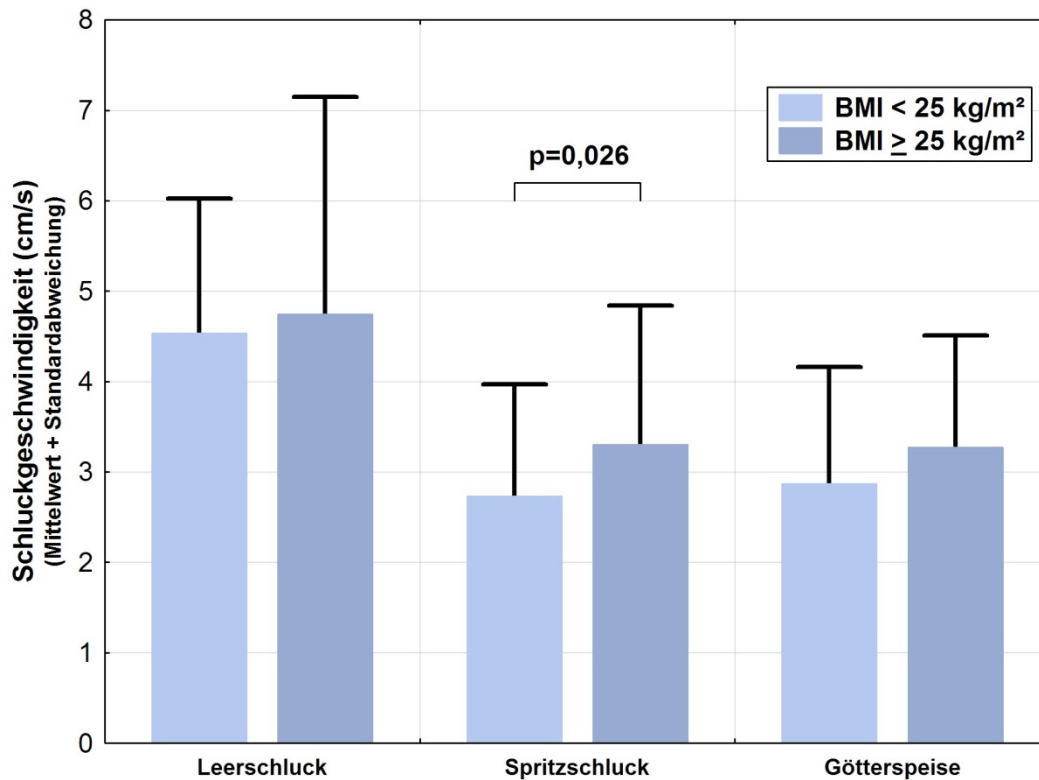


Abbildung 45: Vergleich der mittleren Schluckgeschwindigkeiten der drei Schluckakte zwischen normal- und übergewichtigen Probanden. Statistisch signifikant zeichnete sich die Geschwindigkeit des Spritzschlucks zwischen beiden Gruppen ab, wobei Übergewichtige hierbei schneller schluckten (Mann-Whitney-U-Test, $p=0,026$).

Tabelle 12: Vergleich normal- und übergewichtiger Probanden hinsichtlich der deskriptiven Kenngrößen für die sonographisch ermittelten Parameter der drei Schluckakte. MW=Mittelwert, SD= Standardabweichung, n= Stichprobenanzahl, Min= Minimum, Max= Maximum

		BMI				
		unter 25 kg/m²		25 und mehr		U-Test
Schluck- akt	Parameter	MW±SD	Min/Max	MW±SD	Min/Max	p-Wert
1	Dauer Larynxelevation (s)	0,77 ± 0,30	0,2 / 1,5	0,66 ± 0,27	0,2 / 1,3	0,159
	Dauer (s)	0,91 ± 0,25	0,3 / 1,8	0,94 ± 0,38	0,3 / 1,6	0,549
	Strecke (cm)	3,81 ± 0,52	2,5 / 4,7	3,66 ± 0,81	2,0 / 5,0	0,316
	Geschwindigkeit (cm/s)	4,53 ± 1,49	2,4 / 11,1	4,74 ± 2,41	2,1 / 10,5	0,378
2	Dauer Larynxelevation (s)	0,59 ± 0,27	0,3 / 2,1	0,56 ± 0,26	0,1 / 1,0	0,913
	Dauer (s)	1,63 ± 0,52	0,5 / 2,9	1,44 ± 0,56	0,5 / 2,6	0,127
	Strecke (cm)	3,91 ± 0,42	3,2 / 5,0	4,06 ± 0,48	3,5 / 5,0	0,187
	Geschwindigkeit (cm/s)	2,73 ± 1,24	1,5 / 8,0	3,30 ± 1,54	1,8 / 7,5	0,026
3	Dauer Larynxelevation (s)	0,65 ± 0,39	0,2 / 3,1	0,72 ± 0,46	0,1 / 2,1	0,806
	Dauer (s)	1,56 ± 0,55	0,5 / 3,1	1,35 ± 0,42	0,6 / 2,1	0,133
	Strecke (cm)	3,93 ± 0,42	3,2 / 5,0	3,95 ± 0,58	2,0 / 4,8	0,443
	Geschwindigkeit (cm/s)	2,87 ± 1,29	1,3 / 9,0	3,27 ± 1,24	0,9 / 7,1	0,061

Eine Abhängigkeit der Schluckgeschwindigkeiten vom Durchmesser des Ösophagus war nur für den Schluckakt 3 (Götterspeise) gegeben (Tabelle 13). Bei Probanden mit Ösophagus-Durchmessern von mindestens 9 mm wurde eine höhere mittlere Geschwindigkeit festgestellt ($3,17 \pm 1,19$ cm/s) als bei Probanden mit kleinerem Durchmesser ($2,83 \pm 1,35$ cm/s). Der Unterschied war allerdings nicht statistisch signifikant (Mann-Whitney-U-Test, $p = 0,071$;). Für die beiden anderen Schluckakte waren die Unterschiede dagegen deutlich geringer und nicht statistisch signifikant (p jeweils größer als 0,05).

Tabelle 13: Vergleich von Probanden mit einem Ösophagus-Durchmesser bis bzw. über 9 mm hinsichtlich der deskriptiven Kenngrößen für die sonographisch ermittelten Parameter der drei Schluckakte. MW=Mittelwert, SD= Standardabweichung, n= Stichprobenanzahl, Min= Minimum, Max= Maximum

		Durchmesser Ösophagus				
		unter 9 mm		9 mm und mehr		Mann-Whitney-U-Test
Schluck-akt	Parameter	MW±SD	Min/Max	MW±SD	Min/Max	p-Wert
1	Dauer Larynxelevation (s)	0,69 ± 0,30	0,2 - 1,5	0,79 ± 0,28	0,2 - 1,4	0,080
	Dauer (s)	0,89 ± 0,27	0,3 - 1,6	0,95 ± 0,33	0,4 - 1,8	0,351
	Strecke (cm)	3,73 ± 0,56	2,0 - 5,0	3,81 ± 0,71	2,0 - 5,0	0,558
	Geschwindigkeit (cm/s)	4,73 ± 1,90	2,3 - 11,1	4,45 ± 1,71	2,1 - 8,5	0,433
2	Dauer Larynxelevation (s)	0,55 ± 0,18	0,2 - 1,2	0,57 ± 0,23	0,1 - 1,0	0,494
	Dauer (s)	1,52 ± 0,46	0,5 - 2,3	1,66 ± 0,61	0,5 - 2,9	0,341
	Strecke (cm)	3,82 ± 0,33	3,2 - 4,7	4,15 ± 0,51	3,5 - 5,0	0,005
	Geschwindigkeit (cm/s)	2,88 ± 1,34	1,7 - 8,0	2,91 ± 1,40	1,5 - 7,5	0,832
3	Dauer Larynxelevation (s)	0,62 ± 0,32	0,2 - 2,1	0,66 ± 0,30	0,1 - 1,6	0,372
	Dauer (s)	1,52 ± 0,46	0,5 - 2,6	1,48 ± 0,60	0,6 - 3,1	0,341
	Strecke (cm)	3,81 ± 0,44	2,0 - 4,7	4,11 ± 0,47	3,5 - 5,0	0,015
	Geschwindigkeit (cm/s)	2,83 ± 1,35	0,9 - 9,0	3,17 ± 1,19	1,3 - 7,1	0,071

4.5.2 Multifaktorielle Auswertung

Ergänzend wurde zur Untersuchung von Einflüssen auf die Geschwindigkeiten der drei Schluckakte eine multifaktorielle Auswertung analog zur logistischen Regression für die Darstellbarkeit des Sinus piriformis durchgeführt (Kap. 4.3). Dazu wurde die Stichprobe am jeweiligen Median der Schluckgeschwindigkeiten (Leerschluck:

4,1 cm/s; Spritzschluck: 2,4 cm/s; Götterspeise: 2,7 cm/s) jeweils in zwei etwa gleich große Gruppen à 40 Patienten geteilt und mit dieser Gruppeneinteilung eine multiple logistische Regression mit den Einflussgrößen Altersgruppe, Geschlecht, BMI-Kategorie und Ösophagus-Durchmesser berechnet. Das Ergebnis ist in Tabelle 14 dargestellt. Die angegebenen OddsRatios stellen jeweils die Chance für die Zugehörigkeit zur Gruppe der Probanden mit hoher Schluckgeschwindigkeit (oberhalb des Medians) dar.

Für den Leerschluck ergab sich danach eine Abhängigkeit der Schluckgeschwindigkeit vom Geschlecht. Für männliche Probanden war die Chance einer hohen Schluckgeschwindigkeit 4,6 Mal so hoch wie für weibliche Probanden ($p = 0,027$; Tabelle 14, grau hinterlegt).

Für den Spritzschluck konnte ein statistisch nachweisbarer Einfluss der Altersgruppe auf die Schluckgeschwindigkeit nachgewiesen werden ($p = 0,049$). Die Chance, zur Gruppe derjenigen mit hoher Schluckgeschwindigkeit zu gehören, betrug nach dieser Auswertung für Probanden unter 25 Jahren nur 38 % derer, die ältere Probanden aufwiesen. Für Geschlecht, BMI als auch den Ösophagusdurchmesser waren keine statistisch signifikanten Einflüsse nachweisbar.

Für den Schluckakt 3 (Götterspeise) lag ein statistisch signifikanter Zusammenhang zur Schluckgeschwindigkeit für das Probandengeschlecht vor. Männliche Probanden hatten hierbei eine grössere Chance zur Gruppe mit hoher Schluckgeschwindigkeit zu gehören ($p = 0,008$; Tabelle 14, grau hinterlegt). Ebenso hatten ältere Probanden bessere Chancen als Probanden unter 25 Jahren ($p = 0,039$).

Tabelle 14: Multifaktorielle Beziehungen von Alter, Geschlecht und BMI zur Geschwindigkeit der drei Schluckakte

	Schluckgeschwindigkeit					
	Leerschluck		Spritzschluck		Götterspeise	
Variable	Odds Ratio (95 %-KI)	p-Wert	Odds Ratio (95 %-KI)	p-Wert	Odds Ratio (95 %-KI)	p-Wert
Alter						
unter 25 Jahre	1,8 (0,66-4,6)	0,258	0,38 (0,15-1,00)	0,049	0,34 (0,12-0,95)	0,039
25 und älter	1					
Geschlecht						
männlich	4,6 (1,2-11,0)	0,027	1,7 (0,62-4,9)	0,293	4,2 (1,5-12,2)	0,008
weiblich	1					
BMI						
unter 25 kg/m²	2,6 (0,81-8,3)	0,109	0,51 (0,16-1,6)	0,238	0,89 (0,28-2,8)	0,855
25 und höher	1					
Ösophagus						
unter 9 mm	2,0 (0,69-5,0)	0,194	1,47 (0,51-4,2)	0,473	0,59 (0,20-1,7)	0,347
ab 9 mm	1					

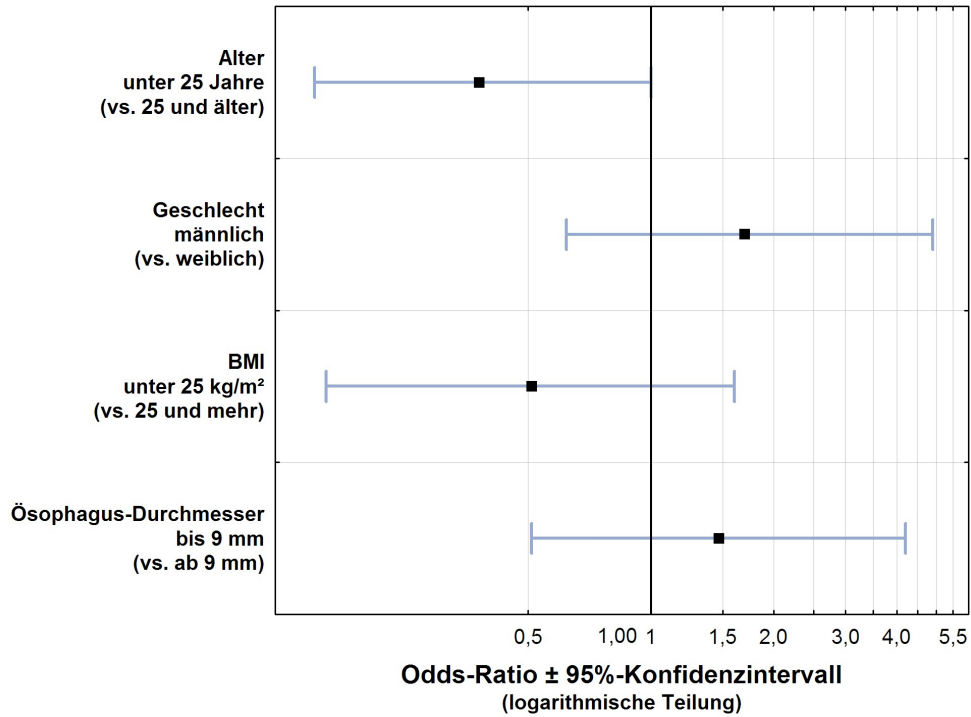


Abbildung 46: OddsRatios für statistisch signifikante Einflussfaktoren auf die Chance für eine hohe Schluckgeschwindigkeit beim Spritzschluck. Sowohl das Geschlecht als auch der Ösophagus-Durchmesser nehmen Einfluss auf die Schluckgeschwindigkeit, wobei bei Männern und einem grösseren Speiseröhrendurchmesser die Chance für einen schnelleren Wasserschluck höher lag.

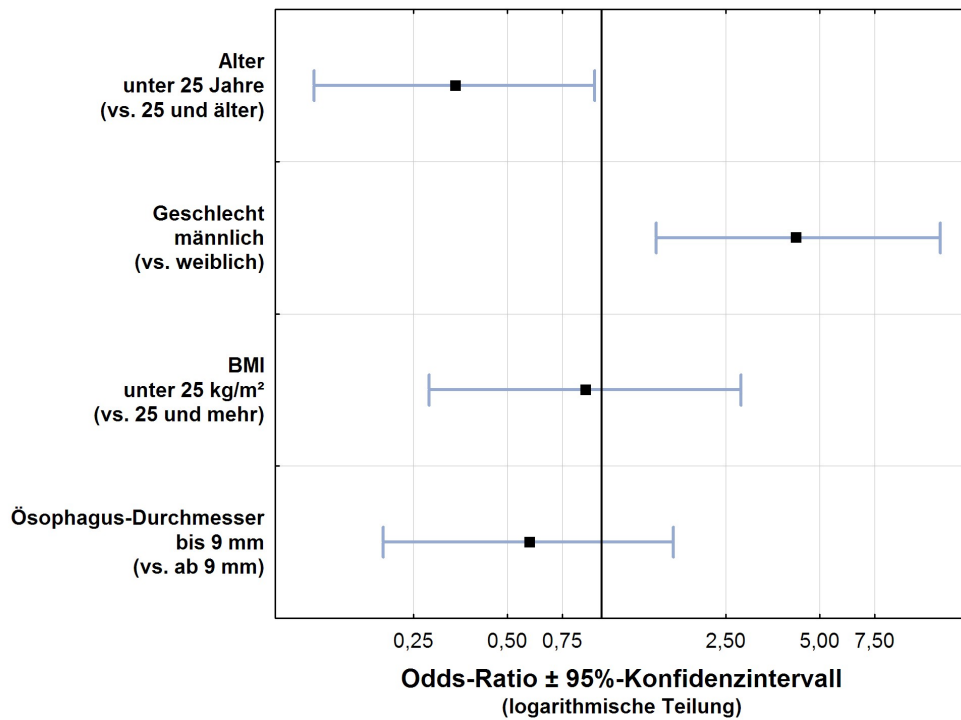


Abbildung 47: OddsRatios für statistisch signifikante Einflussfaktoren auf die Chance für eine hohe Schluckgeschwindigkeit beim Schluckakt 3 (Götterspeise)

4.6 Erste Schritte in der Darstellung von Pathologien mittels Ultrasonographie im Rahmen der Dysphagie-Diagnostik

Analog zu den Untersuchungen der vorliegenden Studie wurden im Rahmen des klinischen Alltags am HNO-ärztlichen Universitätsklinikum Homburg dysphagische Patienten sonographiert. Dabei konnten Erkrankungen wie Morbus Forestier, eine Motoneuron-Erkrankung sowie eine zervikale Ösophagusstenose erfolgreich dokumentiert werden.

Im Folgenden soll anhand von Bildmaterial auf die einzelnen Pathologien und deren sonographische Merkmale eingegangen werden.

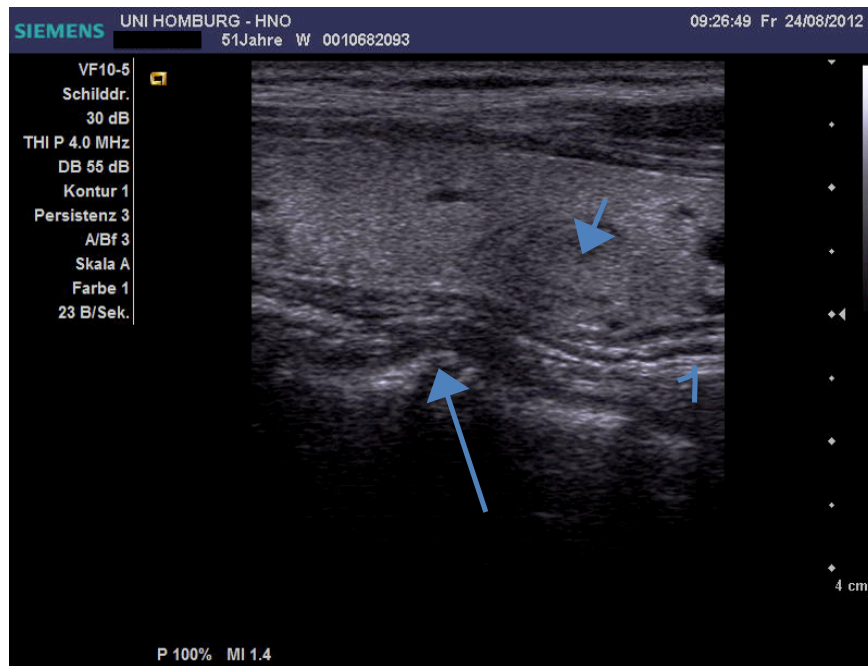
4.6.1 Morbus Forestier

Die Forestier-Krankheit ist auch unter dem Begriff „Diffuse ideopathische skelettäre Hyperostose (DISH)“ bekannt. [49] Hierunter versteht man den zunehmenden Anbau von Spondylophyten entlang der Wirbelsäule, der insbesondere im höheren Lebensalter gehäuft zu beobachten ist.

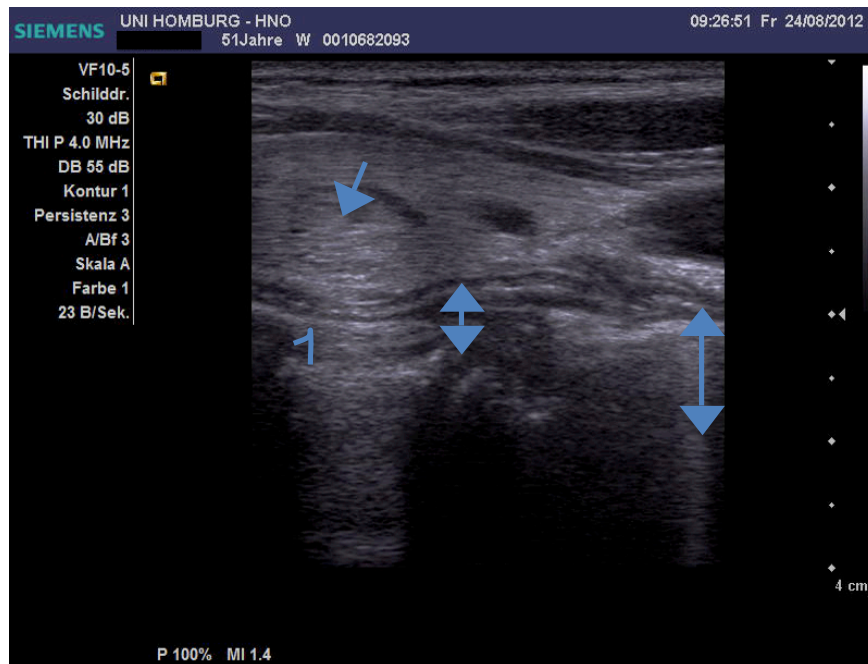
Ventrale Ausknöcherungen im Bereich der Halswirbel können aufgrund der direkten Nachbarschaft zur Speiseröhre eine Dysphagie hervorrufen.

Dies lässt sich im nachfolgenden Patienten-Beispiel sehr gut veranschaulichen.

Abbildung 48 zeigt einen deutlich hervortretenden Spondylophyten im Übergang zweier Halswirbelkörper sowie einen per Zufallsbefund miterfassten Schilddrüsenknoten im eng benachbarten Bereich. Beide Phänomene führen während des Schluckvorgangs zu einer Kompression, daraus resultiert eine Lumeneinengung des betroffenen zervikalen Ösophagusabschnitts (Abbildung 49). Poststenotisch lässt sich eine Dilatation erkennen.



Abbildungung 48: Längsschnitt des zervikalen Ösophagus (1) mit Darstellung eines Osteophyten (langer Pfeil) im Bereich der Halswirbelsäule. Es zeigt sich eine hierdurch hervorgerufene Kompression des anliegenden, relaxierten Ösophagus bei Morbus Forestier. Weiter zeigt sich als Zufallsbefund ein gleichzeitig vorliegender Schilddrüsenknoten (Kurzpfleil), welcher ebenfalls zur Einengung des Speiseröhrenlumens beiträgt.



Abbildungung 49: Längsschnitt des zervikalen Ösophagus (1) während des ablaufenden Schluckvorganges. Die Schilddrüse inklusive Schilddrüsenknoten (Kurzpfleil) ist im Rahmen des Schluckprozesses nach kranial verlagert. Es zeigen sich eine deutliche Lumeneinengung auf Höhe des Osteophyten (kleiner Doppelpfeil) sowie eine poststenotische Dilatation des Speiseröhrenlumens (grosser Doppelpfeil).

4.6.2 Motoneuron-Erkrankung

Zu den neurodegenerativen Erkrankungen wird das Gebiet der Motoneuron-Erkrankungen gezählt. Hierunter fallen neben der Amyotrophen Lateralsklerose auch die Primäre Lateralsklerose sowie spinale Muskelatrophien.

Diese Krankheitsbilder gehen mit der Zerstörung von Nervenzellen einher, welche für die Ausführung von Muskelbewegungen verantwortlich sind. Sie können sowohl im Bereich des motorischen Kortex (erstes Motoneuron) als auch im Vorderhorn des Rückenmarks (zweites Motoneuron) betroffen sein und je nach Ausprägungsform unterschiedliche Symptome hervorrufen. Während bei der Schädigung des ersten Motoneurons eine spastische Lähmung vorrangig ist, kommt es bei einer Läsion des zweiten Motoneurons zu Muskelschwäche bis hin zur Plegie sowie zu Muskelatrophien.

Der Krankheitsverlauf ist geprägt von zunehmenden Einschränkungen bei der Verrichtung des Alltags mit Gang-, Sprech- und Schluckstörungen, im schlimmsten Fall kommt es zu Lähmungen der Atemmuskulatur.

Die unten angeführten Bilder (Abbildung 50 bis Abbildung 54) zeigen den Schluckakt eines Patienten mit bekannter Motoneuron-Erkrankung.

In ihrer Abfolge lassen sich keine Kontraktionswellen des Ösophagus darstellen. Der Bolus kann nicht vollständig abtransportiert werden, der Patient muss mehrmals nachschlucken um ihn Richtung Magen zu befördern. Selbst 6 Sekunden nach Boluspassage finden sich im einsehbaren zervikalen Ösophagusabschnitt noch Bolusreste.

Ruft man sich die Normwerte des Schluckaktes mit 7-10 Sekunden für die gesamte Ösophaguspassage ins Gedächtnis [9], so wird deutlich, dass diese Werte hier bei weitem überschritten werden.

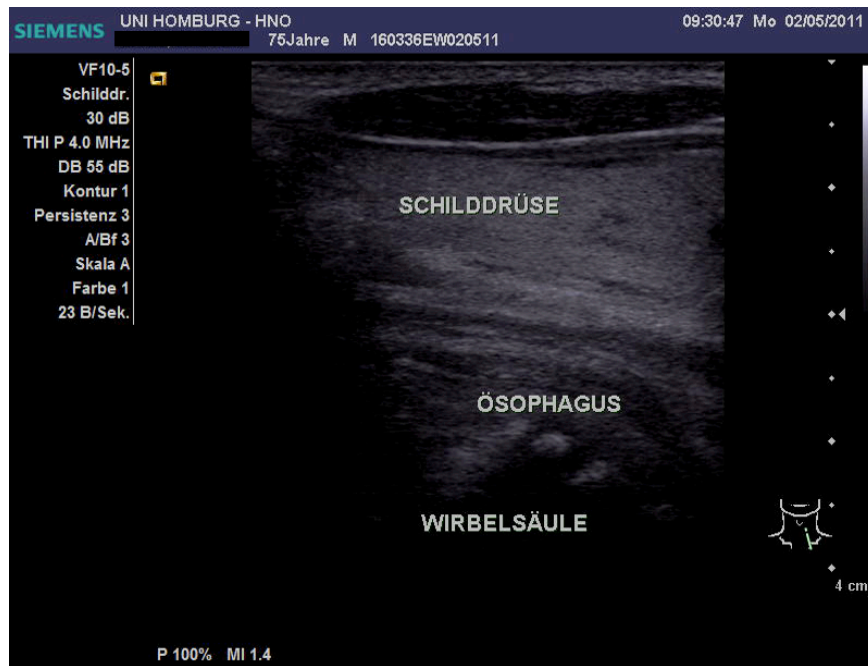


Abbildung 50: Längsschnitt des zervikalen Ösophagus in Ausgangslage bei einem Patienten mit bekannter Motoneuron-Erkrankung.

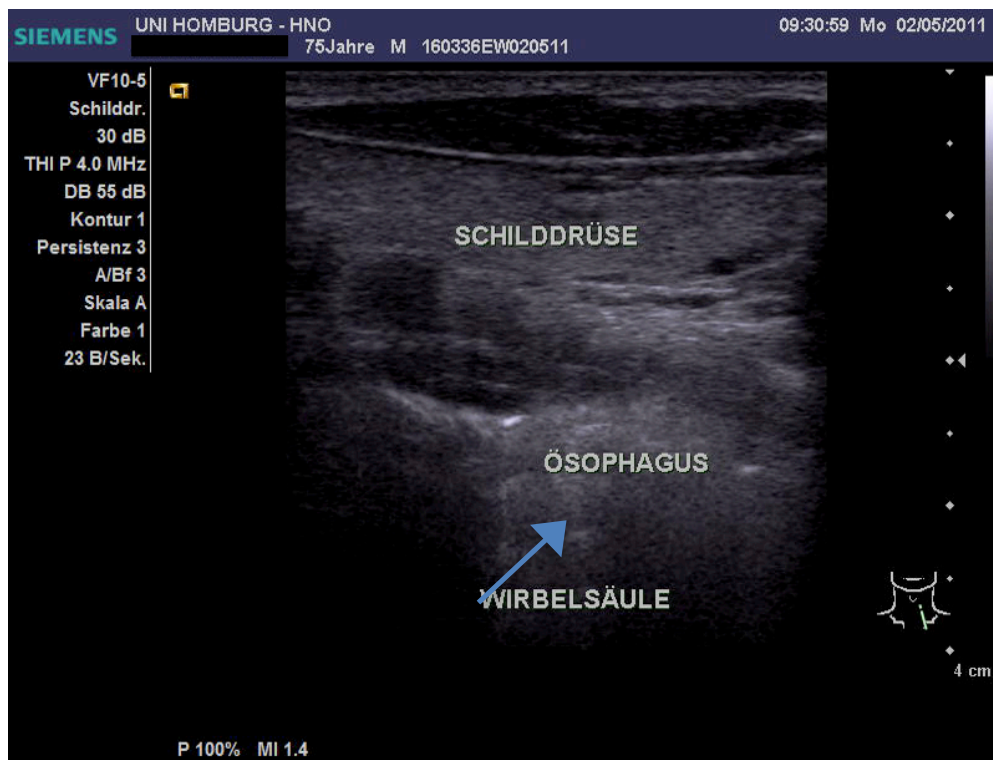


Abbildung 51: Längsschnitt des zervikalen Ösophagus unter ablaufender Boluspassage bei einem Patienten mit bekannter Motoneuron-Erkrankung. Die Beimengung von Luft zum Speichel bewirkt eine Artefakt-Bildung mit entsprechendem Reflexmuster (Pfeil) beim Hindurchgleiten des Bolus.

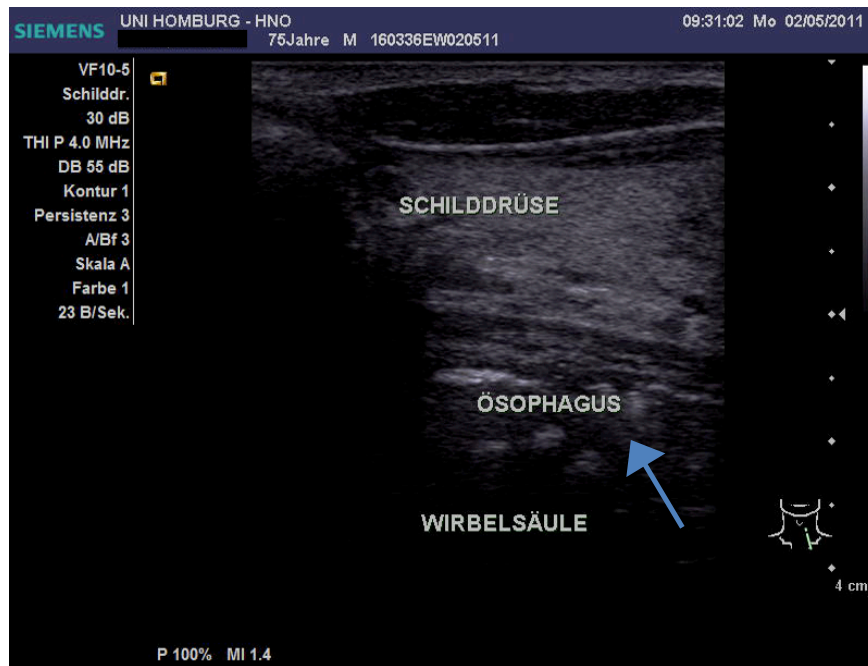


Abbildung 52: Längsschnitt des zervikalen Ösophagus mit Bolusverhalt unmittelbar nach erfolgtem Schluckvorgang bei einem Patienten mit bekannter Motoneuron-Erkrankung. Bei ausbleibenden Kontraktionswellen während des Schluckprozesses verbleibt der Speichelbolus im markierten Ösophagusabschnitt (Pfeil).

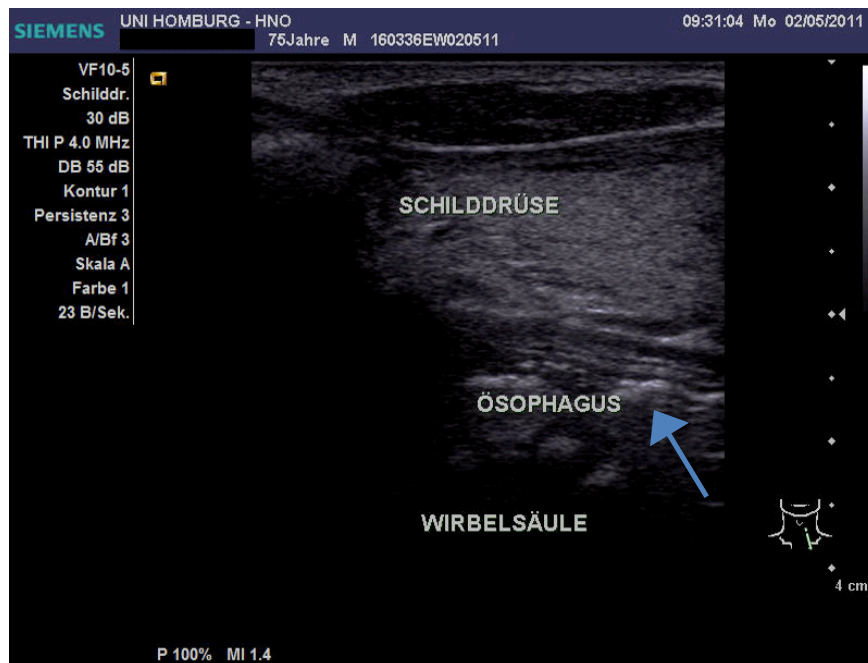


Abbildung 53: Längsschnitt des zervikalen Ösophagus mit fortbestehendem Bolusverhalt 2 Sekunden nach Einleitung des Schluckvorganges bei bekannter Motoneuron-Erkrankung. Der Pfeil markiert den verharrenden Bolus.

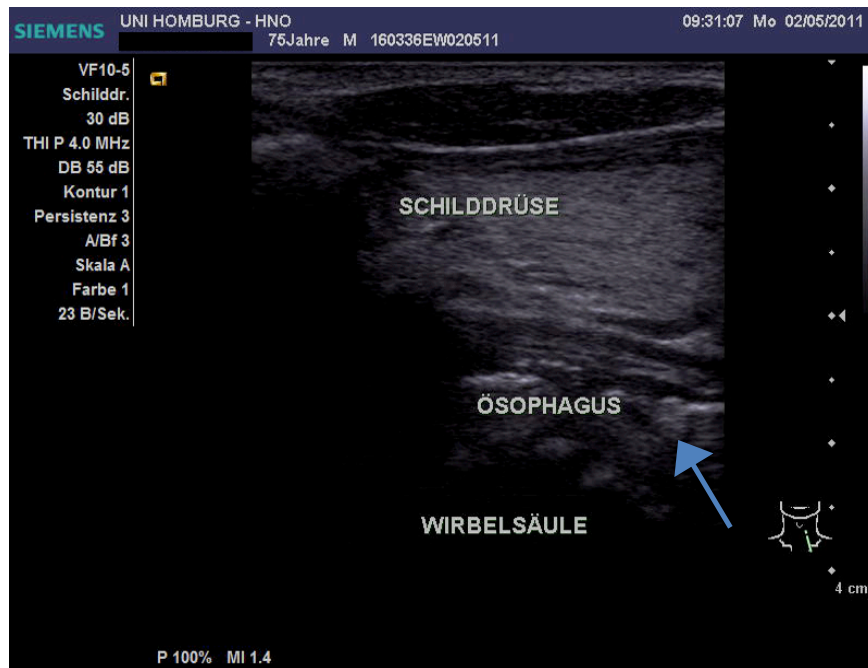


Abbildung 54: Längsschnitt des zervikalen Ösophagus mit weiterhin fortbestehendem Bolusverhalt 5 Sekunden nach erfolgter Boluspassage im einsehbaren Abschnitt (Pfeil) bei bekannter Motoneuron-Erkrankung.

4.6.3 Ösophagusstenose

Hierunter versteht man die Einengung des Ösophaguslumens, die sowohl angeboren als auch erworben sein kann. Einige wichtige Ursachen sind: Ösophagusatresie, Achalasie, Verätzung, Fremdkörper, Refluxösophagitis (peptische Stenose) sowie Tumore. [50]

Klinisch äußert sie sich durch Dysphagie, Odynophagie, Husten und Gewichtsverlust bei reduzierter Nahrungsaufnahme.

Im folgenden Sonogramm (Abbildung 55) erkennt man die deutlich beeinträchtigte Boluspassage im zervikalen Ösophagusabschnitt. Der Bolus gleitet nur verlangsamt durch das Lumen der Speiseröhre, es zeigt sich ein prästenotischer Aufstau der Nahrung, während die Stenose per se im rechten Bildrand angeschnitten wird.

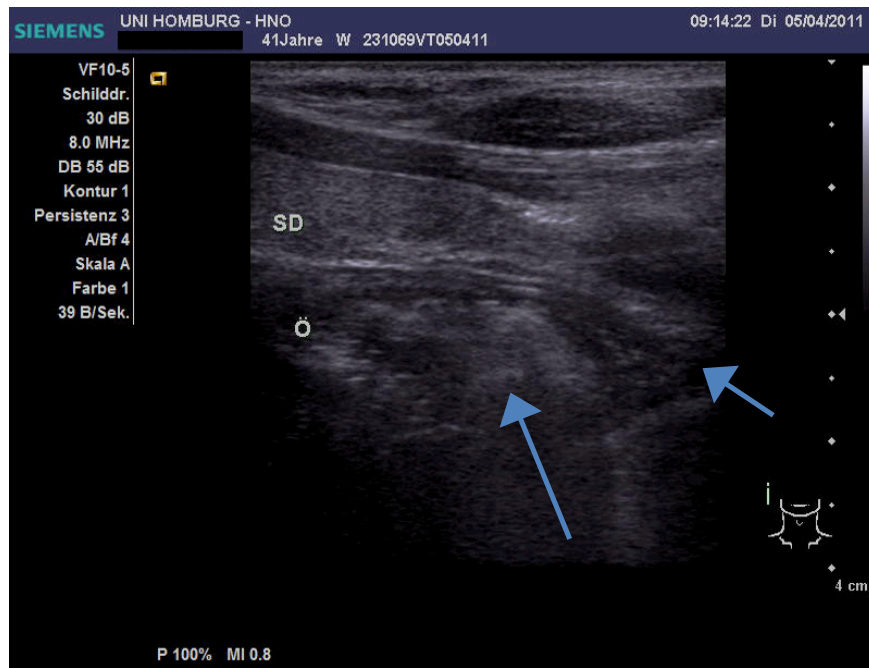


Abbildung 55: Darstellung des zervikalen Ösophagus im Längsschnitt bei einer Patientin mit Ösophagusstenose. Im Bild zeigt sich eine gestörte Ösophaguspassage mit erheblicher prästenotischer Dilatation und Bolusstau (Grosspfeil). Der Kurzpfeil markiert den Bereich der engsten Stelle und damit die Stenose. SD= Schilddrüse, Ö= Ösophagus

5 DISKUSSION

Die Sonographie stellt ein Standarduntersuchungsverfahren im Kopf-Hals-Bereich dar, welches in verschiedenen Gebieten wie der Tumorbehandlung erfolgreich eingesetzt wird. In dem Gebiet der Schluckdiagnostik erscheint die Sonographie von hohem Interesse, wird aber in diesem Bereich noch erforscht. [33, 40]

Bisherige Studien befassten sich vor allem mit der Darstellung der Anatomie des Oropharynx, des zervikalen Ösophagus sowie des oberen Ösophagussphinkters. [39, 40, 51, 52] Dynamische Schluckuntersuchungen dokumentierten Bewegungen von Zunge, Hyoid und lateraler Pharynxwand. [34-39]

In der vorliegenden Studie fand die funktionelle B-Bild-Sonographie im Bereich des oberen Ösophagusdrittels und der Dokumentation des zervikalen Schluckaktes Anwendung, um das bisher rudimentäre Wissen zu bereichern.

Die Ergebnisse werden hinsichtlich ihres Informationsgehaltes interpretiert und in den Zusammenhang des bisherigen Forschungsstandes gestellt. In diesem Kapitel soll zudem die Auseinandersetzung mit Limitationen und potentiellen Fehlerquellen in der ultrasonographischen Datenerhebung des Schluckaktes erfolgen.

Abschließend wird ein Ausblick der hier beschriebenen Untersuchungsmethode für die zukünftige Anwendung in der Dysphagie-Diagnostik gegeben.

5.1 Methodik-Diskussion

5.1.1 Gelungene Aspekte, Grenzen der Arbeit und potentielle Fehlerquellen

Die Ultraschalldiagnostik ist ein Verfahren, welches in seiner Durchführung und Aussagekraft stark vom Untersucher und dessen Erfahrung abhängig ist. [7, 31]

Für die Verlässlichkeit einer Untersuchungsmethode ist bedeutsam, möglichst geringgradige Abweichungen bei wiederholten Messungen sowohl desselben als auch wechselnder Untersucher zu erzielen. In diesem Zusammenhang spricht man von inter- bzw. intraindividuellem Untersuchervariabilität. [53]

Um die interindividuellen Abweichungen dieser Studie so gering wie möglich zu halten, wurden alle Teilnehmer durch nur einen Sonographeur untersucht.

Zur Gewährleistung eines hohen Qualitätsstandards wurde die Datenerhebung durch einen Ausbilder der Deutschen Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin (DEGUM, Stufe II) beaufsichtigt.

Die Lagerung des einzelnen Probanden erfolgte einheitlich in Rückenlage auf einer Untersuchungsliege, um die Abweichung so gering wie möglich zu halten. Eine Nackenrolle ermöglichte die Reklination des Kopfes sowie die Streckung der Kieferwinkel-Hals-Region zur besseren Übersicht und erleichterten Schallankopplung. Diese Methode wurde von Iro [7] im Jahr 2000 als gebräuchliches Vorgehen im klinischen Alltag beschrieben.

Auch die sonographischen Videoaufnahmen des Schluckaktes wurden in ebendieser Position durchgeführt. Schluckmedien wie Wasser und Götterspeise wurden dem Probanden mittels Strohhalm und Löffel angereicht.

Kritisch kann an dieser Stelle angemerkt werden, dass das Trinken oder Verschlucken von Nahrung im Liegen nicht den physiologischen Bedingungen entspricht. Jedoch erlaubt die ungefähre Übereinstimmung unserer Ergebnisse der extrapolierten ösophagealen Transitzeit (5-8 Sekunden) mit bekannten Messwerten aus der Literatur (7-10 Sekunden) die Annahme, dass die Körperposition keinen relevanten Einfluss auf die Untersuchung nimmt. [9] In vorangegangenen Studien wurde der Einfluss von Körperposition und Gravitation auf das Schluckverhalten bereits mit Hilfe der Fluoroskopie und Manometrie untersucht, in denen sich jeweils kein signifikanter Unterschied zwischen sitzender und liegender Position bei gesunden Probanden nachweisen ließ. Beispielsweise zeigte Dejaeger [54] im Jahr

1994, dass weder die pharyngeale Transitzeit noch die pharyngealen Kontraktionswellen durch eine Veränderung der Lage wesentlich beeinflusst wurden. Auch Johnsson [55] stellte ein Jahr später in seiner Arbeit fest, dass die Gesamtdauer des Schluckaktes, oropharyngeale Transitzeiten sowie Hyoid- und Larynxexkursionen sich in unterschiedlichen Körperpositionen nicht veränderten. Su [56] und seine Arbeitsgruppe erhoben in einer videofluoroskopischen Studie im Jahr 2015 ebenfalls vergleichbare Messwerte beim Schlucken von Pudding sowohl im Liegen als auch im Sitzen.

Aufgrund dieser zahlreichen, eindrücklichen Ergebnisse entschieden wir uns die Sonographie bzw. Videodokumentation in liegender Position durchzuführen. Nicht nur dem Patienten auch dem Untersucher wurde hierdurch die Aufnahme wesentlich erleichtert und diese konnte in guter Qualität durchgeführt werden. Darüber hinaus entspricht die liegende Position dem bekannten Vorgehen bei der sonographischen Untersuchung im Halsbereich durch den HNO-Arzt.

Die Untersuchung im Sitzen erfordert zum einen eine wesentlich intensivere Mitarbeit des Patienten, d. h. eine hohe Compliance. Zum anderen kann sich der Untersucher nicht oder nur unzureichend am Probanden abstützen. Dies kann zu einer reduzierten Bildqualität führen bei erschwerter Schallkopfkopplung und höherer Anfälligkeit für „Verwacklungsunschärfe“.

Die Bildeinstellung wurde mit Beginn der Studie definiert. Parameter wie Schallfrequenz (4 MHz), Bildabfolge (22-23 Bilder/Sekunde) und der Einsatz des THI-Modus wurden einheitlich festgelegt und somit auf individuelle Bildeinstellungen am Patienten verzichtet.

Obwohl Iro [7] empfiehlt, das Ultraschallbild den Gegebenheiten des Einzelnen anzupassen, wurde zur besseren Vergleichbarkeit der Werte in dieser Studie darauf verzichtet und hierdurch eine möglichst identische Ausgangslage geschaffen. Die Studie kann damit nicht ausschliessen, dass durch Individualisierung der Einstellungen differente Ergebnisse zu den in dieser Arbeit präsentierten Ergebnissen entstehen können.

Bei bisher fehlender Standardisierung im Untersuchungsvorgehen, wurde ein persönlicher Prozessablauf entwickelt, um Fehlerquellen nach Möglichkeit zu minimieren. [7, 31]

Begonnen wurde die Untersuchung mit der Darstellung anatomischer Strukturen von kranial nach kaudal in folgender Reihe: Zungengrund, Endolarynx, Sinus piriformis/Hypopharynx, Schilddrüse, Ösophagus und Wirbelsäule. Die Organe wurden dabei zuerst im Quer-, dann im Längsschnitt dokumentiert. In den sich anschließenden Videoaufnahmen des zervikalen Ösophagus im Längsschnitt wurde der Schluckakt beim Schlucken dreier verschiedener Medien gezeigt. Dabei erfolgte zuerst der Leerschluck, gefolgt von Spritzschluck und zuletzt das Schlucken von Götterspeise.

Unseres Wissens sind wir bisher die ersten, die die B-Bild-Sonographie in diesem Umfang für Schluckuntersuchungen einsetzen und darüber berichten.

Ältere Studien konzentrieren sich in ihren Untersuchungen auf die sonographische Darstellung der Mundhöhle, insbesondere der Zunge und der lateralen Pharynxwand, sowie auf die Darstellung des Hyoids während des Schluckvorgangs. [34-39] Nachdem die Dokumentation des zervikalen Ösophagus im Quer- und Längsschnitt in einer Arbeit von Zhu [39] im Jahre 2004 vorausgegangen war, erhob Morinière [40] 2013 mit seiner Arbeitsgruppe erste sonographische Parameter des oberen Ösophagussphinkters.

Messungen von Schluckgeschwindigkeiten im Bereich des zervikalen Ösophagus, welche Rückschlüsse auf die Bolustransitzeit der Speiseröhre erlauben, wurden bisher noch nicht mittels Ultraschall erfasst und stellen damit in der vorgelegten Arbeit eine neue Analyse des Schluckaktes dar.

In der aktuellen Literatur sind zeitliche Messdaten, insbesondere der oralen und pharyngealen Bolustransitzeiten, im Röntgen-Breischluck-Verfahren beschrieben. [56, 57]

Die Untersuchungsbedingungen waren in der vorgelegten Arbeit von dem Geschlecht, dem Alter oder dem körperlichem Umfang der Patienten abhängig.

Unterschiede in der Gewebedicke von Halsweichteilen, ausgeprägter Bartwuchs sowie eine deutlich hervortretende Prominentia laryngis (bei Männern oder sehr schlanken Probanden) gestalteten die Untersuchung schwieriger. Insbesondere bei Männern kann die Schallkopfkopplung durch Barthaare wie auch durch die Gegebenheiten der Kehlkopf-anatomie beeinträchtigt sein. Der männliche Kehlkopf besitzt im Vergleich zum weiblichen einen steileren Winkel und tritt daher spitzer am Hals hervor. [58]

Darüber hinaus geht man davon aus, dass der männliche Kehlkopf zu früheren und größeren Verknöcherungen neigt. [59] Hierdurch kann es zu einer Reduktion der Schallwellen-Eindringtiefe und einer eingeschränkten Bildqualität kommen.

Eine weitere Schwierigkeit stellte der wiederkehrende „Gewebeshift“ im dynamischen Untersuchungsverlauf der Schluckuntersuchung dar. Bei der Einleitung des Schluckaktes kommt es aufgrund muskulärer Kontraktionen zu einer Verschiebung mehrerer Gewebeschichten gegeneinander. Im Halsbereich sind dies sowohl Haut, subkutanes Fettgewebe, Muskeln (beispielsweise der M. sternocleidomastoideus) als auch die Schilddrüse und der Ösophagus selbst. Unter dem Einfluss dieser Bewegungen kann es im Untersuchungsablauf zum „Verrutschen“ des Schallkopfes kommen. War dies der Fall, wurden Messungen bis zum Erreichen eines zufriedenstellenden Ergebnisses ggf. mehrfach wiederholt. Um den Schallkopf während des Gewebeshifts optimal in seiner Position zu halten, ist eine gewisse Untersuchungserfahrung Voraussetzung, im Verlauf der Studie erschien die Handhabung jedoch zunehmend leichter und sicherer.

Bezüglich des Patientenkollektivs dieser Studie ist insgesamt eine Tendenz zu einem jüngeren Patientengut zu beobachten. Die Stichprobe der vorliegenden Untersuchung umfasst 81 gesunde Probanden im Alter zwischen 19 und 66 Jahren. Da insgesamt 26 Probanden, die größtenteils einer höheren Altersgruppe angehören, die Einschlusskriterien nicht erfüllten, wurden sie rückwirkend von der

Studie ausgeschlossen. Die vorgelegte Studie zielte auf die Darstellung der sonographischen Möglichkeiten ab. Altersabhängige Daten sollten aus der vorgelegten Arbeit nicht abgeleitet werden und bedürfen gezielter Untersuchungen an grösseren Kollektiven mit einem engen Zeitfenster.

Die teilnehmenden Probanden waren sowohl Studenten und Mitarbeiter der Universität des Saarlandes als auch Patienten der Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde am Universitätsklinikum Homburg. Als Ausschlusskriterien waren eine bestehende Dysphagie, pathologische Organbefunde der Halsregion und vorausgegangene Operationen im Untersuchungsgebiet festgelegt. Des Weiteren führten eine nachgewiesene onkologische und neurologische Krankengeschichte zum Ausschluss.

Die Ergebnisse der vorgelegten Arbeit bieten den Ausblick, dass die Sonographie des Schluckaktes in der Diagnostik von Pathologien Anwendung finden kann.

5.2 Ergebnis-Diskussion

5.2.1 Wertung und Interpretation der anatomischen Darstellbarkeit

Mit nahezu 100-prozentiger Treffsicherheit konnten die untersuchten anatomischen Strukturen wie Zungengrund, Endolarynx, Schilddrüse und oberes Ösophagusdrittel sehr gut sonographisch erfasst werden.

Die Dokumentation des Sinus piriformis/Hypopharynx hingegen bereitete größere Schwierigkeiten. Er war in 39,5% der Fälle nicht darstellbar. Diese Erfahrung sollte dem Untersucher bekannt sein, um Krankheiten des Hypopharynx auf dem Boden der sonographischen Untersuchung mit grosser Zurückhaltung zu beurteilen. Insbesondere sollte die Tatsache einer Nichtdarstellbarkeit einer Pathologie des Hypopharynx nicht automatisch zu dem Schluss eines gesunden Sinus piriformis führen.

Eine mögliche Erklärung für die erschwerte Darstellbarkeit ist, dass sich im Segment des Hypopharynx größere Luftansammlungen befinden, welche die Darstellung der Strukturen beeinträchtigen können. Dieses Problem wurde bereits von Uttenweiler [19] beschrieben.

Im Rahmen der multivariaten Auswertung konnten sowohl Alter als auch BMI als statistisch signifikante Einflussgrößen auf die anatomische Darstellbarkeit dieser Struktur ermittelt werden. Das bedeutet, je älter und je übergewichtiger ein Mensch ist, desto schlechter ist der Sinus piriformis einsehbar.

Vermuten lässt sich, dass Veränderungen in der Gewebestruktur des Halses ursächlich für eine reduzierte Erkennbarkeit im Sonogramm sein können. Aus der Dermatologie ist bekannt, dass sich das sonographische Hautbild mit dem Lebensalter verändert und die Echogenität der Haut bei älteren Menschen im Vergleich zu jüngeren höher ist. [60]

Auch Adipositas hat sich bereits in anderen Fachbereichen als störende Einflussgröße auf sonographische Untersuchungen gezeigt. [61] Dies ist im selben Maße für die Halsregion denkbar.

Ein weiterer Grund für die erschwerte Darstellbarkeit des Sinus piriformis/Hypopharynx ist in der zunehmenden Verknöcherung knorpeliger Kehlkopfanteile im steigenden Alter zu sehen. [14] Sie lässt die Strukturen im Ultraschallbild echoreicher erscheinen und erschwert die Sicht auf die umliegende Region. [62]

Das Geschlecht an sich zeigte keine signifikante Auswirkung auf die Erfassbarkeit des Hypopharynx.

Da dem Ösophagus in dieser Studie eine wesentliche Bedeutung zukommt, soll im Folgenden näher auf seine sonographische Darstellbarkeit eingegangen werden.

Durch angrenzende knöcherne Strukturen ist die Einsehbarkeit des proximalen Ösophagus im Larynxabschnitt teilweise eingeschränkt: während der davon kaudal angrenzende zervikale Abschnitt in der transkutanen sonographischen Schluckuntersuchung gut zu sehen ist, sind die weiter distal angrenzenden Anteile aufgrund der Überlagerung durch Sternum und Clavicula von außen nicht zugänglich. Die intrathorakale Ösophaguslage bedarf daher meist einer endosonographischen Beurteilung, die jedoch funktionelle, dynamische Untersuchungen nicht ermöglicht. [62]

In der vorgelegten Arbeit kam der einsehbare obere Ösophagusabschnitt sowohl im Quer- als auch im Längsschnitt zur Darstellung. Des Weiteren wurde die Anzahl der im Sonogramm erkennbaren Wandschichten dokumentiert.

In 98,8% der Fälle konnte der Ösophagus-Durchmesser sicher bestimmt werden, wobei Alter, BMI und Geschlecht sich nicht auf seine Darstellbarkeit auswirkten.

Der von uns erhobene Mittelwert von $0,88 \pm 0,10$ cm Durchmesser deckt sich zwar nicht ganz mit dem Mittelwert einer vorangegangenen Publikation von Zhu mit $1,11 \pm 0,16$ cm, dennoch lässt er sich in deren Messbereich zwischen 0,71 und 1,39 cm einordnen. [39]

Die Längenbestimmung des Ösophagus im zervikal einsehbaren Ultraschallabschnitt gelang zu 100% und ergab durchschnittliche Messungen von $57,8 \pm 16,6$ mm ($5,78 \pm 1,66$ cm) Länge. Im Vergleich zu den Ergebnissen von Zhu [39] mit durchschnittlich 41 ± 6 mm ($4,10 \pm 0,60$ cm) Länge konnte unsere Arbeit einen mehr als 1,5 cm größeren Längenabschnitt zur Darstellung bringen.

Eine statistisch signifikante Auswirkung ergab sich sowohl für das Alter, das Geschlecht als auch den BMI. Höhere Messwerte fanden sich bei weiblichen, jüngeren und schlanken Teilnehmern, wohingegen die Ergebnisse bei Männern, älteren und übergewichtigen Probanden geringer ausfielen.

Analog zur erschwerten Darstellbarkeit des Endolarynx können sich auch hier Adipositas und veränderte Gewebestrukturen des Halses negativ auf die Einsehbarkeit des sonographisch untersuchten Ösophagus-Längsabschnittes auswirken.

5.2.2 Beurteilung der Darstellbarkeit des Schluckaktes und seiner Geschwindigkeiten mit Hilfe der Sonographie

Als Schluckmedien wurden Speichel, Wasser und Götterspeise eingesetzt. Sie wurden in Anlehnung an die fiberoptisch-endoskopische Schluckuntersuchung (FEES) gewählt, die zwischen den Konsistenzen flüssig, breiig und fest durch die genannten Medien unterscheidet.

Für das geübte Auge des Untersuchers ist es möglich, die drei verschiedenen Schluckakte in der Ultraschallaufnahme voneinander zu differenzieren. Im Folgenden werden Merkmale der einzelnen Schluckvorgänge geschildert.

Beim sogenannten Leerschluck (Schluckakt 1) wird der Proband aufgefordert auf Kommando Speichel zu schlucken. Aufgrund der Beimengung von Luft kommt es zur Artefakt-Bildung im Bereich des Ösophagus. Der Speichel wird als echoreiche Substanz geringer Menge während der Passage sichtbar und von vereinzelten, mäßig ausgeprägten Kontraktionswellen begleitet.

Bei einigen Probanden kann ein „Zurückbleiben“ kleinerer Speichelspiegel beobachtet werden, die nach und nach unter Einsatz der Ösophagusperistaltik abtransportiert werden.

Mit durchschnittlichen Werten von 4,60 cm/s wies der Leerschluck in dieser Studie die höchste Schluckgeschwindigkeit im Vergleich zu den übrigen Schluckakten auf. Extrapoliert man die ermittelte Geschwindigkeit auf die durchschnittliche

Gesamtlänge der Speiseröhre (ca. 25 cm), so benötigte der Speichelbolus im Mittel 5,43 s bis zum Erreichen des Magens.

Die Bezeichnung „Spritzschluck“ steht für das Schlucken von Flüssigkeiten. Dem Probanden wird für diesen Schluckvorgang Wasser per Strohhalm angereicht, welches er aufnimmt und auf Anweisung herunterschluckt (Schluckakt 2).

Im Ultraschallbild zeichnet sich die Flüssigkeit als weniger echoreich ab als die übrigen geschluckten Medien. Propulsionswellen sind während des „Hindurchgleitens“ durch den Ösophagus kaum zu sehen. Dieses Phänomen wurde bereits 2007 von Schmitz [16] beschrieben.

Die Durchschnittsgeschwindigkeit des Spritzschlucks war mit 2,90 cm/s entgegen unserer Erwartungen die langsamste Schluckgeschwindigkeit. Ein Schluck Wasser benötigte demnach etwa 8,62 s bis zum Erreichen der Kardia.

Als mögliche Ursache ist denkbar, dass der Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung während des Schluckprozesses für den Geschwindigkeitsverlust verantwortlich ist. Während einzelner Schluckvideos konnten für den Spritzschluck deutliche Verwirbelungen beobachtet werden.

Letztlich konnten unsere Überlegungen nicht abschließend auf dem Boden der vorgelegten Arbeit geklärt werden. Weitere, spezifische Untersuchungen des Spritzschlucks müssen in Zukunft folgen.

Das Schlucken von Götterspeise ist im Sonogramm besonders gut erkennbar. Ebenso wie beim Speichelschluck finden sich auch hier Luft-Artefakte, welche die klumpige bis breiige Struktur des Bolus in besonderem Maße hervorheben. Im Unterschied zu den anderen Schluckvorgängen finden sich hier stark ausgeprägte Kontraktionswellen im Ösophagus.

Bei einer Schluckgeschwindigkeit von 2,99 cm/s im Durchschnitt, lag die extrapolierte ösophageale Bolustransitzeit von Götterspeise mit 8,36 s vor der des Flüssigkeitsschlucks.

Stellt man unsere Ergebnisse der ösophagealen Bolustransitzeit aller drei Schluckakte mit Werten zwischen 5 und 8 Sekunden Referenzwerten aus der Literatur (7-10 Sekunden) gegenüber [9], so zeigen sich hierbei Übereinstimmungen zu den Ergebnissen anderer Untersuchungstechniken.

Nachdem bisher noch keine Arbeiten bezüglich der Erhebung von Schluckgeschwindigkeiten im Bereich des zervikalen Ösophagus vorliegen, können diese nicht mit Richtwerten verglichen werden. Derzeit liegen ausschließlich Messungen pharyngealer Geschwindigkeiten vor, welche im Rahmen unserer Studie jedoch nicht bestimmt wurden.

5.2.3 Einflussgrößen auf Geschwindigkeiten

Statistisch signifikante Unterschiede fanden sich beim Schlucken von Wasser und Götterspeise in Bezug auf das Alter. Erstaunlicherweise konnten höhere Schluckgeschwindigkeiten bei älteren gegenüber jüngeren Teilnehmern ermittelt werden.

Da wir einen möglichen Zusammenhang zwischen Ösophagus-Durchmesser und Altersgruppen als eine Erklärung für dieses Phänomen vermuteten, wurde dieser im Rahmen der statistischen Auswertung untersucht. Hierbei fand sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Altersgruppen, obgleich bei älteren Probanden tendenziell höhere Messwerte für den Ösophagus-Durchmesser im Vergleich zu jüngeren erfasst werden konnten. Im Mittel betrug der Durchschnitt für Probanden über dem 25. Lebensjahr $0,90 \pm 0,10$ mm, bei jüngeren Probanden lag er bei $0,87 \pm 0,09$ mm ($p = 0,089$).

Möglicherweise reichte für ein signifikantes Ergebnis hinsichtlich eines Zusammenhangs der Altersgruppen mit dem Ösophagus-Durchmesser unsere Stichprobenanzahl nicht aus. Vorerst kann unsere Beobachtung einer schnelleren Schluckgeschwindigkeit mit zunehmendem Alter nicht abschließend geklärt werden.

Beim Vergleich der Geschlechter in Bezug auf die Schluckparameter fiel auf, dass Männer durchschnittlich schneller schluckten als Frauen, ein signifikanter Unterschied ergab sich jedoch lediglich für Schluckakt 3 (Götterspeise).

Die Gegenüberstellung von Normal- und Übergewichtigen zeigte tendenziell höhere Schluckgeschwindigkeiten bei Probanden mit einem BMI über 25kg/m².

Derzeit liegen noch keine Lösungsansätze für die uns vorliegenden Ergebnisse vor, da sie in der bisherigen Literatur nicht beschrieben und diskutiert sind. Weitere Studien unter Rekrutierung größerer Populationszahlen sind hierzu erforderlich, um neue Denkansätze zu gewinnen.

5.2.4 Ermittelte Larynxelevationszeiten und Schluckakt-Dauer

Die Larynxelevationszeit wurde für alle drei Schluckakte (Leerschluck, Spritzschluck und Götterspeise-Schluck) bestimmt.

Hieraus ergaben sich durchschnittliche Werte zwischen $0,58 \pm 0,26$ und $0,74 \pm 0,30$ Sekunden.

Diese ähneln in etwa Messungen von Komori, in dessen Studie die Dauer der maximalen Larynxelevation mittels Videofluoroskopie und Ultraschall bestimmt wurde. Für die Sonographie lagen die Ergebnisse der Arbeitsgruppe bei $0,79 \pm 0,22$ Sekunden. [63]

Da Komori [63] lediglich Barium als Schluckmedium einsetzte und die Studie - aus nur 8 männlichen, gesunden Probanden um das 30. Lebensjahr bestehend - als sehr eingeschränkt aussagekräftig zu bewerten ist, sind die Messwerte der Studie nicht hundertprozentig vergleichbar. Stellen wir seine Messungen mit denen des Götterspeiseschlucks unserer Studie gegenüber, welcher am ehesten einem breiigen Medium entspricht, so fallen unsere Werte mit $0,67 \pm 0,41$ Sekunden etwas geringer aus.

Statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich der Larynxelevationszeit konnten sogar beim Vergleich der Schluckakte untereinander festgestellt werden. Sie wurden in Kap. 4.2.3 beschrieben. Dabei war die Larynxelevationszeit sowohl beim Spritzschluck als auch beim Schlucken des Götterspeisebolus deutlich kürzer als beim Leerschluck. Das heißt, beim Schlucken von Speichel dauerte die Larynxelevation am längsten.

Denkbare Ursache für diese Feststellung ist, dass sich beim reinen Speichelschluck der Ösophagussphinkter aufgrund des fehlenden Reizes durch einen entsprechend großen Bolus erst verspätet öffnet und hierdurch eine prolongierte Larynxelevation zustande kommt. Dies kann Bestandteil der physiologischen Bedingungen sein.

Eine statistisch signifikante Beeinflussung der Messergebnisse konnte weder für das Geschlecht, noch für den BMI und die Altersgruppen nachgewiesen werden.

5.3 Ausblick und Anwendbarkeit der sonographischen Schluckuntersuchung in der Dysphagie-Diagnostik

Die B-Bild-Sonographie kann zur Beurteilung des oberen Ösophagusdrittels sowie zur Untersuchung des Schluckvorganges unter Verwendung unterschiedlicher Konsistenzen (Speichel, Flüssigkeit und Götterspeise) sehr gut eingesetzt werden.

Wie in Kap. 4.6 an einzelnen Beispielen veranschaulicht, ermöglicht die Ultrasonographie das Erkennen von Pathologien. Es konnten sowohl eine Erkrankung neuro-/myogener als auch zwei unterschiedliche Dysphagie-Krankheitsbilder obstruktiver Genese zur Darstellung gebracht werden. Sonographische Merkmale, wie unter anderem eine deutliche Lumenschwankung im Ösophagus bei Vorliegen einer Stenosierung und eine prolongierte Passagezeit aufgrund Ausbleiben von Kontraktionswellen bei einer Motoneuronenstörung, liessen sich anhand der Aufnahmen veranschaulichen.

Zukünftig werden detaillierte, umfangreichere Untersuchungen unter Rekrutierung von Dysphagie-Patienten diverser Fachbereiche folgen müssen, welche zum einen die Definition sonomorphologischer Kriterien für die einzelnen Krankheitsbilder erlauben. Zum anderen sind Messwerte wie z.B. Schluckgeschwindigkeiten bei dysphagischen Patienten zu erheben, welche mit Normwerten, wie sie in dieser Arbeit erhoben wurden, verglichen werden können.

5.4 Überprüfung des Einflusses von Schilddrüsenpathologien auf die sonographische Darstellbarkeit in einer ergänzenden Analyse

Im Rahmen einer ergänzenden Analyse dieser Arbeit wurde eine Gruppe von 25 Probanden untersucht, welche Schilddrüsenveränderungen aufwiesen und daher von der Ursprungsstudie ausgeschlossen waren. Das Durchschnittsalter dieser Gruppe lag über dem 50. Lebensjahr.

Anhand dieser Teilnehmer wurde untersucht, ob bzw. inwieweit sich Pathologien wie noduläre Veränderungen der Schilddrüse (14 Probanden), Strumen (9 Probanden) und Zustand nach Thyreoidektomie (2 Probanden) auf die anatomische Darstellbarkeit und die Ergebnisse der Schluckversuche auswirkten.

Eine tabellarische Übersicht der statistischen Auswertung ist im Anhang aufgeführt.

Hinsichtlich der sonographischen Darstellbarkeit der anatomischen Strukturen ließ sich feststellen, dass 6 von 8 untersuchten Strukturen sicher erkennbar waren. Diese waren: Zungengrund, Schilddrüse, Wirbelsäule, Ösophagus im Quer- und Längsschnitt sowie dessen Wandschichten. Einschränkungen in der Einsehbarkeit ergaben sich für den Endolarynx, vor allem jedoch für den Sinus piriformis/Hypopharynx.

Intralaryngeale Anteile kamen bei 7 von 25 Probanden (28%) nicht zur Darstellung.

Der Sinus piriformis bzw. Hypopharynx hingegen konnte in mehr als 70% der Fälle nicht sonographisch erfasst werden.

Als statistisch signifikante Einflussgrößen auf die anatomische Darstellbarkeit ließ sich intralaryngeal das Geschlecht, beim Sinus piriformis der BMI bestimmen.

Bei der Erhebung der Schluckparameter fanden sich zum Teil ähnliche Werte im Vergleich zur gesunden Referenzgruppe, insbesondere im Hinblick auf die Larynxelevationszeiten.

Für die Schluckgeschwindigkeiten ergaben sich beim Flüssigkeits- und Götterspeise-Schluck sogar höhere Werte bei der Gruppe mit Schilddrüsenpathologien, das heißt die Probanden mit Schilddrüsenpathologien schluckten vergleichsweise schneller als die 81 gesunden Teilnehmer.

Zwischen den einzelnen Schluckakten konnten keinerlei signifikante Unterschiede festgestellt werden. Darüber hinaus fanden sich keine statistisch signifikanten Abhängigkeiten der erhobenen Schluckparameter von Geschlecht, Alter, BMI und Ösophagus-Durchmesser. Hierzu reichte vermutlich das Kollektiv von 25 Probanden nicht aus.

Zusammenfassend zeigen unsere Ergebnisse, dass Pathologien im Bereich der Schilddrüse, die keine subjektiven Beschwerden verursachen, vermutlich keinen nennenswerten Einfluss auf die Schluckdiagnostik nehmen.

Für zukünftige Studien wäre interessant herauszufinden, ab welcher Größe sich eine Struma objektiv auf das Schluckgeschehen auswirkt und dieses beeinträchtigt.

5.5 Schlussfolgerung

Unsere Studie hat gezeigt, dass sich die Sonographie in beachtlichem Maße für die anatomische Darstellbarkeit von am Schluckakt beteiligten Organen eignet und auch die Videodokumentation des Schluckaktes per se sehr gut gelingt.

Anhand der Darlegung einiger pathologischer Beispiele konnte zudem veranschaulicht werden, dass die B-Bild-Sonographie zukünftig für die Klinik von besonderer Relevanz sein und als wertvolle Ergänzung der bisherigen Standarduntersuchungsmethoden der Dysphagie-Diagnostik dienen kann.

Die durch uns erhobenen Werte des Ösophagus, der Larynxelevationszeit und Schluckgeschwindigkeiten können anderen Gruppen für weiterführende Arbeiten als Referenz dienen. Auch können sie im klinischen Alltag vergleichend zwischen gesunden und erkrankten (dysphagischen) Patienten eingesetzt werden. Grenzwerte für einen pathologischen Befund sind künftig in weiteren Studien zu definieren.

Obgleich der bisherige Erfahrungsschatz der B-Bild-Sonographie auf dem Gebiet der Schluckdiagnostik noch eingeschränkt ist, erlaubt der derzeitige Forschungsstand die Annahme, dass die Sonographie einen bedeutenden Zugewinn darstellt.

Nichtsdestotrotz sind weitere Studien von Nöten, um ein einheitliches Untersuchungskonzept für die Zukunft zu erarbeiten. Ein denkbares Vorgehen wäre die Rekrutierung möglichst vieler dysphagischer Patienten aus verschiedenen Fachbereichen wie der Neurologie, Pädiatrie, Orthopädie sowie Gastroenterologie und deren Zuordnung zu einzelnen Erkrankungsgruppen. Diese Gruppen könnten anschließend durch die HNO systematisch hinsichtlich sonographischer Auffälligkeiten beim Schluckvorgang untersucht werden.

6 LITERATURVERZEICHNIS

1. Ekberg, O., et al., *Social and psychological burden of dysphagia: its impact on diagnosis and treatment*. *Dysphagia*, 2002. **17**(2): p. 139-46.
2. Zylka-Menhorn, V., *Wenn Schlucken eine Tortur ist*. *Deutsches Ärzteblatt*, 2014. **13**(111): p. 550-51.
3. Zeuzem, S. and W. Rösch, *Gastroenterologie: Gastroenterologische Leitsymptome: Leitsymptome bei Erkrankungen des Ösophagus*, in *Duale Reihe: Innere Medizin*, C. Bieber, et al., Editors. 2013, Thieme: Stuttgart. p. 458-459.
4. Schönweiler, R. and B. Schönweiler, *Lippen, Mundhöhle und Pharynx: Erkrankungen des Pharynx*, in *Facharztwissen HNO-Heilkunde: Differenzierte Diagnostik und Therapie*, M. Reiß, Editor. 2009, Springer: Heidelberg. p. 503-505.
5. Rösch, W., *Leitsymptom Dysphagie*. *Deutsches Ärzteblatt*, 2004. **101**(41): p. 2748-2752.
6. Bartolome, G., *Dysphagien*, in *Lexikon der Sprachtherapie*, M. Grohnfeldt, Editor. 2007, Kohlhammer: Stuttgart. p. 80-83.
7. Iro, H., *Kopf-Hals-Sonographie: Eine Anleitung zur praxisbezogenen Ultraschalluntersuchung*. 1st ed, ed. H. Iro, V. Uttenweiler, and J. Zenk. 2000, Berlin: Springer.
8. Logemann, J.A., *Swallowing disorders*. *Best Pract Res Clin Gastroenterol*, 2007. **21**(4): p. 563-73.
9. Gekle, M., *Funktionen des Magen-Darm-Trakts, Energiehaushalt und Ernährung: Ösophagus und Schlucken*, in *Physiologie*, R. Klinke, et al., Editors. 2010, Thieme: Stuttgart. p. 431-432.
10. Logemann, J.A. *Clinical Bulletin Swallowing Disorders and Their Management in Patients with Multiple Sclerosis*, 2011.
11. Borr, C., *Aspekte der Anatomie, Physiologie und Neurologie des Schluckaktes*, in *Dysphagie: Diagnostik und Therapie: Ein Kompendium*, S. Seidel and S. Stanschus, Editors. 2009, Schulz-Kirchner: Idstein. p. 15-36.
12. Aumüller, G., *Mundhöhle und Kauapparat: Mundhöhle*, in *Duale Reihe: Anatomie*, G. Aumüller, et al., Editors. 2007, Thieme: Stuttgart. p. 1003-1015.
13. Aumüller, G., *Halsorgane: Pharynx*, in *Duale Reihe: Anatomie*, G. Aumüller, et al., Editors. 2007, Thieme: Stuttgart. p. 913-919.

14. McCulloch, T.M. and D.J. Van Daele, *Normal Anatomy and Physiology of the Nose, the Pharynx, and the Larynx: The Larynx*, in *Endoscopic Evaluation and Treatment of Swallowing Disorders*, S.E. Langmore, Editor. 2001, Thieme: New York, NY. p. 27.
15. Aumüller, G., *Halsorgane: Larynx*, in *Duale Reihe: Anatomie*, G. Aumüller, et al., Editors. 2007, Thieme: Stuttgart. p. 920-929.
16. Schmitz, F., *Verdauungssystem: Rumpfdarm- Ösophagus und Gastrointestinaltrakt: Speiseröhre*, in *Duale Reihe: Anatomie*, G. Aumüller, et al., Editors. 2007, Thieme: Stuttgart. p. 665-677.
17. Strutz, J., *Untersuchung des Halses und des Ösophagus: Ösophagus*, in *Praxis der HNO-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie*, J. Strutz and W. Mann, Editors. 2010, Thieme: Stuttgart. p. 127.
18. Bartolome, G. and S. Neumann, *Physiologie des Schluckvorgangs: Der normale Schluckvorgang*, in *Schluckstörungen: Diagnostik und Rehabilitation*, G. Bartolome and H. Schröter-Morasch, Editors. 2010, Elsevier: München. p. 16.
19. Uttenweiler, V., *Funktionelle Ultraschalldiagnostik: Schluckstörungen*, in *Kopf-Hals-Sonographie: Eine Anleitung zur praxisbezogenen Ultraschalluntersuchung*, H. Iro, V. Uttenweiler, and J. Zenk, Editors. 2000, Springer: Berlin. p. 97-110.
20. Müller, C. and J. Lorenz, *Dysphagie*. *Pneumologie*, 2005. **2**(5): p. 367-378.
21. Geißler, M. and S. Winkler, *Dysphagie: Ein einführendes Lehrbuch: Von der subjektiven Beschwerde zur logopädischen Diagnose*. 1st ed. 2012, Idstein: Schulz-Kirchner.
22. McCullough, G.H. and R. Martino, *General Consideration in Evaluation of Dysphagic Patients: Clinical Evaluation of Patients with Dysphagia: Importance of History Taking and Physical Exam*, in *Manual of Diagnostic and Therapeutic Techniques for Disorders of Deglutition*, R. Shaker, et al., Editors. 2013, Springer: New York, NY. p. 17-25.
23. Voigt, N., *Klinische Schluckuntersuchung*, in *Dysphagie: Diagnostik und Therapie: Ein Kompendium*, S. Seidel and S. Stanschus, Editors. 2009, Schulz-Kirchner: Idstein. p. 37-39.
24. Kristoferitsch, W., *Dysphagie*, in *Symptomatische Therapie der Multiplen Sklerose*, T. Henze, Editor. 2005, Thieme: Stuttgart. p. 143.

25. Prosiegel, M., *Qualitätskriterien und Standards für die Diagnostik und Therapie von Patienten mit neurologischen Schluckstörungen. Neurogene Dysphagien – Leitlinien 2003 der DGNKN*. Neurol Rehabil, 2003. **9**: p. 157-181.
26. Nebel, A. and G. Deuschl, *Methoden der Diagnostik und Evaluation der Dysphagie bei M. Parkinson: Radiologische Diagnostik*, in *Dysarthrie und Dysphagie bei M. Parkinson*, L. Springer and D. Schrey-Dern, Editors. 2008, Thieme: Stuttgart. p. 127.
27. Langmore, S.E., K. Schatz, and N. Olsen, *Fiberoptic endoscopic examination of swallowing safety: a new procedure*. Dysphagia, 1988. **2**(4): p. 216-9.
28. Stein, J. and C. Martin, *Physikalisch-technische Grundlagen: Technische Grundlagen*, in *Kursbuch Ultraschall: Nach den Richtlinien der DEGUM und der KBV*, G. Schmidt and C. Görg, Editors. 2015, Thieme: Stuttgart. p. 31-34.
29. Uttenweiler, V., *Grundlagen der Ultraschalldiagnostik*, in *Kopf-Hals-Sonographie: Eine Anleitung zur praxisbezogenen Ultraschalluntersuchung*, H. Iro, V. Uttenweiler, and J. Zenk, Editors. 2000, Springer: Berlin. p. 4-5.
30. Filippucci, E., et al., *Grundkurs: Allgemeiner Teil*, in *Ultraschalldiagnostik der Bewegungsorgane: Kursbuch nach den Richtlinien der DEGUM und der DGOU*, W. Konermann and G. Gruber, Editors. 2012, Thieme: Stuttgart. p. 3.
31. Mende, U., *Aufbaukurs: CT und MRT als alternative bildgebende Verfahren zur Sonographie*, in *Ultraschalldiagnostik im Kopf- und Halsbereich (A- und B- Bild-Verfahren): Begleitbuch zum Kurs an der für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde - Plastische Operationen- HELIOS Klinikum Erfurt*, D. Eßler, K. Hoffmann, and U. Mende, Editors. 2004, Cuvillier: Göttingen. p. 172.
32. Geddes, D.T., et al., *Ultrasound imaging of infant swallowing during breast-feeding*. Dysphagia, 2010. **25**(3): p. 183-91.
33. Palabiyik, F.B., et al., *Use of sonography for evaluation of the cervical and thoracic esophagus in children*. J Ultrasound Med, 2012. **31**(9): p. 1375-9.
34. Kim, J.H. and M.S. Kim, *Lateral pharyngeal wall motion analysis using ultrasonography in stroke patients with dysphagia*. Ultrasound Med Biol, 2012. **38**(12): p. 2058-64.
35. Miller, J.L. and K.L. Watkin, *Lateral pharyngeal wall motion during swallowing using real time ultrasound*. Dysphagia, 1997. **12**(3): p. 125-32.

36. Shawker, T.H., et al., *Ultrasound analysis of tongue, hyoid, and larynx activity during swallowing*. Invest Radiol, 1984. **19**(2): p. 82-6.
37. Shawker, T.H., et al., *Real-time ultrasound visualization of tongue movement during swallowing*. J Clin Ultrasound, 1983. **11**(9): p. 485-90.
38. Yabunaka, K., et al., *Sonographic assessment of hyoid bone movement during swallowing: a study of normal adults with advancing age*. Radiol Phys Technol, 2011. **4**(1): p. 73-7.
39. Zhu, S.Y., et al., *Sonographic anatomy of the cervical esophagus*. J Clin Ultrasound, 2004. **32**(4): p. 163-71.
40. Moriniere, S., et al., *Ultrasound analysis of the upper esophageal sphincter during swallowing in the healthy subject*. Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis, 2013. **130**(6): p. 321-5.
41. Magix, *Video Deluxe für Windows. Programmsystem zur Videobearbeitung*. 2014.
42. Statsoft, *Statistica für Windows. Programmsystem zur Datenanalyse*. 2010.
43. Bender, R., S. Lange, and A. Ziegler, *Wichtige Signifikanztests*. DMW- Deutsche Medizinische Wochenschrift, 2007. **132**: p. e24-e25.
44. Pospeschill, M., *Statistische Methoden*. 2006, Heidelberg: Elsevier.
45. Sachs, L., *Angewandte Statistik*. 11th ed. 2004, Berlin: Springer.
46. Bender, R., A. Ziegler, and S. Lange, *Logistische Regression*. DMW- Deutsche Medizinische Wochenschrift, 2002. **127**: p. T11-13.
47. Schmidt, G., *Sonographie der Schilddrüse und der Nebenschilddrüsen*, in *Kursbuch Ultraschall: Nach den Richtlinien der DEGUM und der KBV*. 2015, Thieme. p. 268.
48. Nagele, W. and J. Nagele, *Aktueller Stand der B-Bild-Schilddrüsen-sonographie*. Journal für Klinische Endokrinologie und Stoffwechsel, 2009. **2**(4): p. 7-14.
49. Prosiegel, M., *Mit Schluckstörungen assoziierte Erkrankungen*, in *Dysphagie: Diagnostik und Therapie: Ein Wegweiser für kompetentes Handeln*, M. Prosiegel and S. Weber, Editors. 2013, Springer: Berlin. p. 40-69.
50. Lux, G., *Schluckstörungen, Globusgefühl, Singultus: Ösophageale Dysphagie*, in *Differentialdiagnose in der Inneren Medizin*, P. Scheurlen, Editor. 1989, Springer: Berlin. p. 329-331.
51. Ardakani, F.E., *Evaluation of Swallowing Patterns of the Tongue Using Real-time B-mode Sonography*. J Contemp Dent Pract, 2006. **7**(3): p. 67-74.

52. Coquia, S.F., et al., *Visualization of the Oropharynx With Transcervical Ultrasound*. AJR Am J Roentgenol, 2015. **205**(6): p. 1288-94.
53. Willinek, W.A., et al., *Tissue Harmonic Imaging im Vergleich zum konventionellen Ultraschall: Einfluss auf Bildqualität und Untersuchervariabilität bei der Messung der Intima-Media-Dicke in der Arteria carotis communis*. Fortschr Röntgenstr, 2000. **172**(7): p. 641-645.
54. Dejaeger, E., et al., *Effect of body position on deglutition*. Dig Dis Sci, 1994. **39**(4): p. 762-5.
55. Johnsson, F., et al., *Influence of gravity and body position on normal oropharyngeal swallowing*. Am J Physiol, 1995. **269**(5 Pt 1): p. G653-8.
56. Su, H.K., et al., *Temporal and Physiologic Measurements of Deglutition in the Upright and Supine Position with Videofluoroscopy (VFS) in Healthy Subjects*. Dysphagia, 2015. **30**(4): p. 438-44.
57. Molfenter, S.M. and C.M. Steele, *Variation in temporal measures of swallowing: sex and volume effects*. Dysphagia, 2013. **28**(2): p. 226-33.
58. Schiebler, T.H., *Kopf und Hals: Collum, Hals*, in *Anatomie*, T.H. Schiebler, Editor. 2005, Springer: Berlin. p. 445.
59. Münz, M., *Von dem Kehlkopfe: Verschiedenheit des Kehlkopfes nach Geschlecht und Alter*, in *Handbuch der Anatomie des menschlichen Körpers: Eingeweidlehre*, M. Münz, Editor. 1827, Dr. Martin Münz: Landshut. p. 486.
60. Garbe, C. and A. Blum, *Darstellung von Hauttumoren und entzündlichen Hautkrankheiten mit hochauflösendem Ultraschall*, in *Ultraschalldiagnostik der Haut und Lymphknoten*, C. Garbe and A. Blum, Editors. 1999, Springer: Berlin. p. 92.
61. Bartels, H. and J.R. Siewert, *Postoperativer Verlauf und seine Störungen- Chirurgische Intensivmedizin im Rahmen der chirurgischen Gastroenterologie: Diagnostik postoperativer chirurgischer Komplikationen nach gastroenterologischen Eingriffen*, in *Chirurgische Gastroenterologie: 1 Allgemeine chirurgische Gastroenterologie*, J.R. Siewert, et al., Editors. 1990, Springer: Berlin. p. 376.
62. Jecker, P., *Ultraschalldiagnostik bei Erkrankungen des oberen Aerodigestivtrakts*, in *Ultraschalldiagnostik Kopf-Hals*, H. Welkoborsky, et al., Editors. 2013, Thieme: Stuttgart. p. 68-77.

63. Komori, M., M. Hyodo, and K. Gyo, *A swallowing evaluation with simultaneous videoendoscopy, ultrasonography and videofluorography in healthy controls*. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec, 2008. **70**(6): p. 393-8.

7 Danksagung/Publikationen

An erster Stelle gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. med. B. Schick, Direktor der Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde am Universitätsklinikum des Saarlandes, für die Überlassung des Themas, seine wertvollen Anregungen und die fachliche Förderung, die weit über diese Arbeit hinaus geht.

Herrn Dr. med. G. Wolf danke ich für seine Hilfsbereitschaft, die fachkundige und verständnisvolle Betreuung und die Freude, die er mir sowohl an der HNO als auch in besonderem Masse an der Sonographie vermittelt hat.

Herzlich möchte ich mich des Weiteren bei Herrn Dr. A.-C. Bader, Phoniater der Klinik Hals-Nasen-Ohrenheilkunde am Universitätsklinikum des Saarlandes, für sein Engagement und die Überlassung des endoskopischen Bildmaterials bedanken.

Frau Dr. G. Wagenpfeil, Diplom-Statistikerin am Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Medizinische Informatik, danke ich für die freundliche statistische Beratung.

Zu guter Letzt gilt mein besonderer Dank meinen Eltern, die mich zu jedem Zeitpunkt unterstützt und motiviert haben und mir ein wertvolles Vorbild nicht nur für meinen beruflichen Lebensweg sind.

Im Rahmen dieser Arbeit entstanden folgende Publikationen:

- 1. Schluckdiagnostik mittels Ultraschall: erste Ergebnisse der sonographischen Funktionsdiagnostik des oberen Ösophagus und Hypopharynx.**

Wolf G., Grebe L., Hertel V., Bozzato A., Bader C., Schick B.; **84. Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf und Halschirurgie e.V., 08.05.-12.05.2013 Nürnberg Convention Center**

2. **Dysphagie: Diagnostische Möglichkeiten: aktuell und in Zukunft**
Grebe L., Wolf G., Bader C., Schick B.; **20. Internationale Saar-Lor-Lux-HNO-Tagung, 14.03.2015 Luxemburg**

8 ANHANG

Datenauswertung der 25 Probanden mit pathologischen Schilddrüsenbefunden

Tabellarische Darstellung der Datenauswertung für 25 Patienten, die wegen pathologischer Schilddrüsenbefunde nicht in die Studiengruppe eingeschlossen worden waren. Die Darstellung erfolgt analog zum Kapitel der Ergebnisse dieser Arbeit.

Deskriptive Darstellung

Patientenkollektiv

Geschlecht		
	Häufigkeit	Prozent
männlich	12	48,00000
weiblich	13	52,00000
Summe	25	

Geschlecht	Alter	Alter	Alter	BMI	BMI	BMI
	MW	N	SD	MW	N	SD
männlich	53,08333	12	19,46773	28,43844	12	3,866876
weiblich	51,23077	13	19,18399	26,07946	13	4,547036
Alle	52,12000	25	18,93700	27,21177	25	4,317169

Mann-Whitney U-Test						
	Rangsumme männlich	Rangsumme weiblich	U	N männlich	N weiblich	2*eins. exakt p
Alter	159,5000	165,5000	74,50000	12	13	0,851719
BMI	177,0000	148,0000	57,00000	12	13	0,270124

Geschlecht	BMI in Kategorien		Zeile
	unter 25	25 und mehr	Gesamt
männlich	3	9	12
Ze. %	25,00%	75,00%	
weiblich	6	7	13
Ze. %	46,15%	53,85%	
Ges.	9	16	25

	Chi-Quadrat	FG	p
Fisher exakt, zweiseitig			p=,41098

Darstellbarkeit und Dimensionen anatomischer Strukturen

	darstellbar		nicht darstellbar	
Wirbelsäule/Disci	23	92,00000	2	8,00000
Darstellbarkeit Schilddrüse gesamt	25	100,0000		
Darstellbarkeit intralaryngealer Strukturen	18	72,00000	7	28,00000
Sinus piriformis/ Hypopharynx	6	24,00000	19	76,00000
Darstellbarkeit Zungengrund	25	100,0000		
Darstellbarkeit Ösophagus Querschnitt	23	92,00000	2	8,00000
Darstellbarkeit Ösophagus Längsschnitt	24	96,00000	1	4,00000
Darstellbarkeit Ösophagus Wandschichten	24	96,00000	1	4,00000

Deskriptive Statistik	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schilddrüsenlappen links: Höhe (mm)	23	17,00000	17,00000	9,00000	25,00000	4,35890
Schilddrüsenlappen links: Breite (mm)	23	19,17391	19,00000	12,00000	35,00000	4,46860
Schilddrüsenlappen links: Tiefe (mm)	23	45,47826	45,00000	27,00000	71,00000	10,07188
Schilddrüsenlappen links: Volumen (ml)	23	7,76113	7,40250	1,45800	14,83900	3,50214
Schilddrüsenlappen rechts: Höhe (mm)	24	18,12500	18,00000	8,00000	28,00000	3,95972
Schilddrüsenlappen rechts: Breite (mm)	24	21,16667	20,00000	12,00000	30,00000	5,26404
Schilddrüsenlappen rechts: Tiefe (mm)	24	48,62500	45,50000	31,00000	75,00000	10,65185

Deskriptive Statistik	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schilddrüsenlappen rechts: Volumen (ml)	24	9,94640	8,49000	1,68000	21,84000	5,23709
Schilddrüsen-Volumen gesamt (ml)	23	18,06693	18,39750	6,75900	35,64000	7,91364
Zungengrund Länge (mm)	25	23,80000	24,00000	18,00000	30,00000	2,94392
Zungengrund Breite (mm)	25	34,80000	35,00000	30,00000	40,00000	2,53311
Zungengrund Höhe (mm)	25	29,92000	30,00000	20,00000	39,00000	4,71628
Zungengrund Volumen (ml)	25	24,77748	24,19200	14,97300	35,26400	5,32394
Ösophagus Anzahl Wandschichten	24	2,75000	3,00000	1,00000	3,00000	0,53161
Ösophagus Durchmesser (cm)	23	0,91957	0,95500	0,65500	1,17500	0,15969
Ösophagus Länge (mm)	24	44,20833	43,00000	9,00000	70,00000	15,86075

Schluckakte

Deskriptive Statistik	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schluckakt 1 Dauer Larynxelation (s)	22	0,980836	0,832500	0,199800	2,79720	0,612362
Schluckakt 1 Dauer (s)	22	0,992945	0,949050	0,199800	1,76490	0,380739
Schluckakt 1 Strecke (cm)	25	3,388000	3,700000	1,200000	5,00000	1,031310
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	22	4,593048	3,442363	1,334668	17,51752	3,300874
Schluckakt 2 Dauer Larynxelation (s)	22	0,662973	0,599400	0,266400	1,66500	0,301178
Schluckakt 2 Dauer (s)	22	1,336541	1,198800	0,399600	2,83050	0,615507
Schluckakt 2 Strecke (cm)	25	3,372000	3,700000	1,200000	5,00000	0,930287
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	22	3,280967	2,881359	1,322751	10,51051	1,900695
Schluckakt 3 Dauer Larynxelation (s)	22	0,709895	0,649350	0,099900	1,63170	0,401760
Schluckakt 3 Dauer (s)	22	1,389518	1,332000	0,532800	2,69730	0,567561
Schluckakt 3 Strecke (cm)	24	3,675000	3,700000	2,000000	5,00000	0,787539
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	22	3,120708	3,033327	1,297594	6,56907	1,223823

Friedmans ANOVA ANOVA Chi² (N = 22, FG = 2) = 6,689655 p = ,05527				
	Mittlerer	Rang-	MW	SD
	Rang	summe		
Schluckakt 1 Dauer Larynxele- vation (s)	2,318182	51,00000	0,980836	0,612362
Schluckakt 2 Dauer Larynxele- vation (s)	1,568182	34,50000	0,662973	0,301178
Schluckakt 3 Dauer Larynxele- vation (s)	2,113636	46,50000	0,709895	0,401760

Friedmans ANOVA ANOVA Chi² (N = 22, FG = 2) = 5,818182 p = ,05453				
	Mittlerer	Rang-	MW	SD
	Rang	summe		
Schluckakt 1 Dauer (s)	1,636364	36,00000	0,992945	0,380739
Schluckakt 2 Dauer (s)	2,363636	52,00000	1,336541	0,615507
Schluckakt 3 Dauer (s)	2,000000	44,00000	1,389518	0,567561

Friedmans ANOVA ANOVA Chi² (N = 24, FG = 2) = 2,925926 p = ,23155				
	Mittlerer	Rang-	MW	SD
	Rang	summe		
Schluckakt 1 Strecke (cm)	1,937500	46,50000	3,479167	0,945000
Schluckakt 2 Strecke (cm)	1,854167	44,50000	3,462500	0,830302
Schluckakt 3 Strecke (cm)	2,208333	53,00000	3,675000	0,787539

Friedmans ANOVA ANOVA Chi² (N = 22, FG = 2) = 7,181818 p = ,02757				
	Mittlerer	Rang-	MW	SD
	Rang	summe		
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	2,454545	54,00000	4,593048	3,300874
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	1,681818	37,00000	3,280967	1,900695
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	1,863636	41,00000	3,120708	1,223823

Einflüsse auf die Darstellbarkeit anatomischer Strukturen

	Darstellbarkeit intralaryngealer Strukturen		Zeile
Alter	darstellbar	nicht darstellbar	Gesamt
unter 25	3	0	3
Ze. %	100,00%	0,00%	
25+	15	7	22
Ze. %	68,18%	31,82%	
Ges.	18	7	25

	Chi-Quadrat	FG	p
Fisher exakt, zweiseitig			p=,53435

	Sinus piriformis/ Hypopharynx		Zeile
Alter	darstellbar	nicht darstellbar	Gesamt
unter 25	2	1	3
Ze. %	66,67%	33,33%	
25+	4	18	22
Ze. %	18,18%	81,82%	
Ges.	6	19	25

	Chi-Quadrat	FG	p
Fisher exakt, zweiseitig			p=,13261

	Darstellbarkeit intralaryngealer Strukturen		Zeile
Geschlecht	darstellbar	nicht darstellbar	Gesamt
männlich	6	6	12
Ze. %	50,00%	50,00%	
weiblich	12	1	13
Ze. %	92,31%	7,69%	
Ges.	18	7	25

	Chi-Quadrat	FG	p
Fisher exakt, zweiseitig			p=,03021

	Sinus piriformis/ Hypopharynx		Zeile
Geschlecht	darstellbar	nicht darstellbar	Gesamt
männlich	1	11	12
Ze. %	8,33%	91,67%	
weiblich	5	8	13
Ze. %	38,46%	61,54%	
Ges.	6	19	25

	Chi-Quadrat	FG	p
Fisher exakt, zweiseitig			p=,16025

	Darstellbarkeit intralaryngealer Strukturen		Zeile
BMI	darstellbar	nicht darstellbar	Gesamt
unter 25	7	2	9
Ze. %	77,78%	22,22%	
25 und mehr	11	5	16
Ze. %	68,75%	31,25%	
Ges.	18	7	25

	Chi-Quadrat	FG	p
Fisher exakt, zweiseitig			p=1,0000

	Sinus piriformis/ Hypopharynx		Zeile
BMI	darstellbar	nicht darstellbar	Gesamt
unter 25	5	4	9
Ze. %	55,56%	44,44%	
25 und mehr	1	15	16
Ze. %	6,25%	93,75%	
Ges.	6	19	25

	Chi-Quadrat	FG	p
Fisher exakt, zweiseitig			p=,01186

Multivariate Auswertung für die Darstellbarkeit intralaryngealer Strukturen wegen zu geringer Stichprobengröße nicht möglich (keine numerische Stabilität der Resultate).

Sinus piriformis/ Hypopharynx - Odds Ratios							
	Stufe v.	Odds	Standard	Wald	Unt. KG	Ob. KG	p
	Effekt	Ratio	Fehler	Stat.	95, %	95, %	
Konstante		0,10980	1,155535	3,654940	0,011402	1,0572	0,055903
Alter Kat	unter 25	8,11273	2,100763	0,993034	0,132128	498,1267	0,319002
	25+	1,00000					
Geschlecht	männlich	0,18950	1,355029	1,506902	0,013311	2,6978	0,219612
	weiblich	1,00000					
BMI in Kategorien	unter 25	14,42498	1,317121	4,106136	1,091390	190,6559	0,042728
	25 und mehr	1,00000					

Einflüsse auf die Dimensionen anatomischer Strukturen

Alter Kat=25+	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schilddrüsenlappen links: Höhe (mm)	21	17,04762	17,00000	9,00000	25,00000	4,22464
Schilddrüsenlappen links: Breite (mm)	21	19,33333	19,00000	12,00000	35,00000	4,62961
Schilddrüsenlappen links: Tiefe (mm)	21	44,04762	43,00000	27,00000	65,00000	8,70905
Schilddrüsenlappen links: Volumen (ml)	21	7,58414	7,40250	1,45800	13,80000	3,22319
Schilddrüsenlappen rechts: Höhe (mm)	21	18,71429	18,00000	12,00000	28,00000	3,39327
Schilddrüsenlappen rechts: Breite (mm)	21	21,52381	20,00000	14,00000	30,00000	5,15382
Schilddrüsenlappen rechts: Tiefe (mm)	21	48,66667	46,00000	31,00000	64,00000	8,78256
Schilddrüsenlappen rechts: Volumen (ml)	21	10,17279	8,82000	4,41600	21,84000	4,77447
Schilddrüsen-Volumen gesamt (ml)	21	17,75693	18,39750	6,75900	35,64000	7,25809
Zungengrund Länge (mm)	22	24,09091	24,00000	20,00000	30,00000	2,86039
Zungengrund Breite (mm)	22	35,04545	35,00000	30,00000	40,00000	2,55375
Zungengrund Höhe (mm)	22	29,13636	30,00000	20,00000	36,00000	4,34572
Zungengrund Volumen (ml)	22	24,65914	24,09600	14,97300	35,26400	5,38185
Ösophagus Anzahl Wandschichten	21	2,71429	3,00000	1,00000	3,00000	0,56061
Ösophagus Durchmesser (cm)	20	0,92275	0,95750	0,65500	1,17500	0,17002
Ösophagus Länge (mm)	21	42,28571	42,00000	9,00000	70,00000	15,86235

Alter Kat=unter 25	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schilddrüsenlappen links: Höhe (mm)	2	16,50000	16,50000	11,00000	22,00000	7,77817
Schilddrüsenlappen links: Breite (mm)	2	17,50000	17,50000	16,00000	19,00000	2,12132
Schilddrüsenlappen links: Tiefe (mm)	2	60,50000	60,50000	50,00000	71,00000	14,84924
Schilddrüsenlappen links: Volumen (ml)	2	9,61950	9,61950	4,40000	14,83900	7,38149
Schilddrüsenlappen rechts: Höhe (mm)	3	14,00000	14,00000	8,00000	20,00000	6,00000
Schilddrüsenlappen rechts: Breite (mm)	3	18,66667	19,00000	12,00000	25,00000	6,50641
Schilddrüsenlappen rechts: Tiefe (mm)	3	48,33333	35,00000	35,00000	75,00000	23,09401
Schilddrüsenlappen rechts: Volumen (ml)	3	8,36167	4,65500	1,68000	18,75000	9,11870
Schilddrüsen-Volumen gesamt (ml)	2	21,32200	21,32200	9,05500	33,58900	17,34816
Zungengrund Länge (mm)	3	21,66667	23,00000	18,00000	24,00000	3,21455
Zungengrund Breite (mm)	3	33,00000	34,00000	31,00000	34,00000	1,73205
Zungengrund Höhe (mm)	3	35,66667	36,00000	32,00000	39,00000	3,51188
Zungengrund Volumen (ml)	3	25,64533	25,02400	20,08800	31,82400	5,89262
Ösophagus Anzahl Wandschichten	3	3,00000	3,00000	3,00000	3,00000	0,00000
Ösophagus Durchmesser (cm)	3	0,89833	0,91500	0,82000	0,96000	0,07147
Ösophagus Länge (mm)	3	57,66667	54,00000	52,00000	67,00000	8,14453

Mann-Whitney U-Test	Rangsumme	Rangsumme	U	N	N	2*eins.
	25+	unter 25		25+	unter 25	exakt p
Schilddrüsenlappen links: Höhe (mm)	253,5000	22,50000	19,50000	21	2	0,869565
Schilddrüsenlappen links: Breite (mm)	259,0000	17,00000	14,00000	21	2	0,505929
Schilddrüsenlappen links: Tiefe (mm)	234,0000	42,00000	3,00000	21	2	0,047431
Schilddrüsenlappen links: Volumen (ml)	248,0000	28,00000	17,00000	21	2	0,711462
Schilddrüsenlappen rechts: Höhe (mm)	278,0000	22,00000	16,00000	21	3	0,201581
Schilddrüsenlappen rechts: Breite (mm)	272,0000	28,00000	22,00000	21	3	0,451581
Schilddrüsenlappen rechts: Tiefe (mm)	271,0000	29,00000	23,00000	21	3	0,504941
Schilddrüsenlappen rechts: Volumen (ml)	273,0000	27,00000	21,00000	21	3	0,401186

Mann-Whitney U-Test	Rangsumme	Rangsumme	U	N	N	2*eins.
	25+	unter 25		25+	unter 25	exakt p
Schilddrüsen-Volumen gesamt (ml)	251,0000	25,00000	20,00000	21	2	0,956522
Zungengrund Länge (mm)	300,5000	24,50000	18,50000	22	3	0,238261
Zungengrund Breite (mm)	303,5000	21,50000	15,50000	22	3	0,151304
Zungengrund Höhe (mm)	259,0000	66,00000	6,00000	22	3	0,020000
Zungengrund Volumen (ml)	282,0000	43,00000	29,00000	22	3	0,782609
Ösophagus Anzahl Wandschichten	255,0000	45,00000	24,00000	21	3	0,561265
Ösophagus Durchmesser (cm)	246,0000	30,00000	24,00000	20	3	0,634670
Ösophagus Länge (mm)	244,5000	55,50000	13,50000	21	3	0,121542

Geschlecht=männlich	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schilddrüsenlappen links: Höhe (mm)	12	18,25000	19,00000	12,00000	25,00000	3,93412
Schilddrüsenlappen links: Breite (mm)	12	20,33333	19,00000	17,00000	35,00000	4,77367
Schilddrüsenlappen links: Tiefe (mm)	12	46,75000	42,50000	36,00000	71,00000	11,02992
Schilddrüsenlappen links: Volumen (ml)	12	8,63988	8,76625	4,10400	14,83900	3,05048
Schilddrüsenlappen rechts: Höhe (mm)	12	19,25000	19,00000	16,00000	24,00000	2,76751
Schilddrüsenlappen rechts: Breite (mm)	12	22,33333	23,00000	15,00000	29,00000	5,24549
Schilddrüsenlappen rechts: Tiefe (mm)	12	54,08333	53,50000	42,00000	75,00000	10,79106
Schilddrüsenlappen rechts: Volumen (ml)	12	11,80912	10,28050	6,88000	18,90000	4,70387
Schilddrüsen-Volumen gesamt (ml)	12	20,44900	18,83375	11,04000	33,58900	6,86157
Zungengrund Länge (mm)	12	23,41667	23,50000	20,00000	27,00000	2,31432
Zungengrund Breite (mm)	12	34,41667	34,50000	31,00000	38,00000	2,15146
Zungengrund Höhe (mm)	12	28,66667	29,00000	20,00000	39,00000	5,89813
Zungengrund Volumen (ml)	12	23,00942	22,51000	14,97300	31,82400	4,98655
Ösophagus Anzahl Wandschichten	11	2,54545	3,00000	1,00000	3,00000	0,68755
Ösophagus Durchmesser (cm)	10	0,93600	0,98250	0,65500	1,17500	0,18351
Ösophagus Länge (mm)	11	39,81818	42,00000	9,00000	66,00000	15,76590

Geschlecht=weiblich	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schilddrüsenlappen links: Höhe (mm)	11	15,63636	15,00000	9,00000	24,00000	4,56668
Schilddrüsenlappen links: Breite (mm)	11	17,90909	18,00000	12,00000	23,00000	3,93585
Schilddrüsenlappen links: Tiefe (mm)	11	44,09091	45,00000	27,00000	62,00000	9,23531
Schilddrüsenlappen links: Volumen (ml)	11	6,80250	6,21000	1,45800	13,80000	3,84831
Schilddrüsenlappen rechts: Höhe (mm)	12	17,00000	18,00000	8,00000	28,00000	4,72902
Schilddrüsenlappen rechts: Breite (mm)	12	20,00000	19,00000	12,00000	30,00000	5,23971
Schilddrüsenlappen rechts: Tiefe (mm)	12	43,16667	45,00000	31,00000	56,00000	7,46913
Schilddrüsenlappen rechts: Volumen (ml)	12	8,08367	6,89400	1,68000	21,84000	5,25841
Schilddrüsen-Volumen gesamt (ml)	11	15,46832	12,54600	6,75900	35,64000	8,47054
Zungengrund Länge (mm)	13	24,15385	24,00000	18,00000	30,00000	3,48440
Zungengrund Breite (mm)	13	35,15385	35,00000	30,00000	40,00000	2,88231
Zungengrund Höhe (mm)	13	31,07692	32,00000	25,00000	36,00000	3,09466
Zungengrund Volumen (ml)	13	26,40954	26,35000	18,70000	35,26400	5,28049
Ösophagus Anzahl Wandschichten	13	2,92308	3,00000	2,00000	3,00000	0,27735
Ösophagus Durchmesser (cm)	13	0,90692	0,91500	0,65500	1,12000	0,14524
Ösophagus Länge (mm)	13	47,92308	52,00000	23,00000	70,00000	15,56953

Mann-Whitney U-Test	Rangsumme	Rangsumme	U	N	N	2*eins.
	männlich	weiblich		männlich	weiblich	exakt p
Schilddrüsenlappen links: Höhe (mm)	167,5000	108,5000	42,50000	12	11	0,150667
Schilddrüsenlappen links: Breite (mm)	156,0000	120,0000	54,00000	12	11	0,486503
Schilddrüsenlappen links: Tiefe (mm)	146,0000	130,0000	64,00000	12	11	0,927908
Schilddrüsenlappen links: Volumen (ml)	162,0000	114,0000	48,00000	12	11	0,287547
Schilddrüsenlappen rechts: Höhe (mm)	172,0000	128,0000	50,00000	12	12	0,218921
Schilddrüsenlappen rechts: Breite (mm)	170,0000	130,0000	52,00000	12	12	0,265670
Schilddrüsenlappen rechts: Tiefe (mm)	185,5000	114,5000	36,50000	12	12	0,038721
Schilddrüsenlappen rechts: Volumen (ml)	182,0000	118,0000	40,00000	12	12	0,068361

Mann-Whitney U-Test	Rangsumme	Rangsumme	U	N	N	2*eins.
	männlich	weiblich		männlich	weiblich	exakt p
Schilddrüsen-Volumen gesamt (ml)	171,0000	105,0000	39,00000	12	11	0,103709
Zungengrund Länge (mm)	143,5000	181,5000	65,50000	12	13	0,503319
Zungengrund Breite (mm)	144,5000	180,5000	66,50000	12	13	0,538245
Zungengrund Höhe (mm)	131,5000	193,5000	53,50000	12	13	0,186070
Zungengrund Volumen (ml)	127,0000	198,0000	49,00000	12	13	0,122518
Ösophagus Anzahl Wandschichten	116,5000	183,5000	50,50000	11	13	0,228426
Ösophagus Durchmesser (cm)	128,0000	148,0000	57,00000	10	13	0,648162
Ösophagus Länge (mm)	117,0000	183,0000	51,00000	11	13	0,251772

BMI in Kategorien=unter 25	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schilddrüsenlappen links: Höhe (mm)	8	15,12500	14,50000	11,00000	22,00000	3,75832
Schilddrüsenlappen links: Breite (mm)	8	17,25000	17,50000	13,00000	21,00000	2,91548
Schilddrüsenlappen links: Tiefe (mm)	8	45,75000	44,00000	34,00000	65,00000	9,58794
Schilddrüsenlappen links: Volumen (ml)	8	6,26913	5,67925	2,43100	10,45000	2,95957
Schilddrüsenlappen rechts: Höhe (mm)	9	16,22222	17,00000	8,00000	21,00000	3,63242
Schilddrüsenlappen rechts: Breite (mm)	9	17,66667	18,00000	12,00000	27,00000	4,41588
Schilddrüsenlappen rechts: Tiefe (mm)	9	44,55556	43,00000	35,00000	64,00000	9,73539
Schilddrüsenlappen rechts: Volumen (ml)	9	6,59978	6,88000	1,68000	10,93500	2,72036
Schilddrüsen-Volumen gesamt (ml)	8	13,48388	12,36825	6,91100	19,27000	4,71485
Zungengrund Länge (mm)	9	23,66667	24,00000	18,00000	28,00000	3,00000
Zungengrund Breite (mm)	9	33,88889	34,00000	31,00000	39,00000	2,57121
Zungengrund Höhe (mm)	9	29,44444	30,00000	20,00000	36,00000	5,29413
Zungengrund Volumen (ml)	9	23,59611	24,48000	14,97300	31,20000	5,42344
Ösophagus Anzahl Wandschichten	9	2,77778	3,00000	2,00000	3,00000	0,44096
Ösophagus Durchmesser (cm)	9	0,86500	0,91500	0,65500	1,03000	0,15178
Ösophagus Länge (mm)	9	51,55556	52,00000	33,00000	70,00000	12,66996

BMI in Kategorien=25 und mehr	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schilddrüsenlappen links: Höhe (mm)	15	18,00000	19,00000	9,00000	25,00000	4,44008
Schilddrüsenlappen links: Breite (mm)	15	20,20000	19,00000	12,00000	35,00000	4,88730
Schilddrüsenlappen links: Tiefe (mm)	15	45,33333	45,00000	27,00000	71,00000	10,64805
Schilddrüsenlappen links: Volumen (ml)	15	8,55687	8,71250	1,45800	14,83900	3,59772
Schilddrüsenlappen rechts: Höhe (mm)	15	19,26667	18,00000	12,00000	28,00000	3,80726
Schilddrüsenlappen rechts: Breite (mm)	15	23,26667	25,00000	16,00000	30,00000	4,66701
Schilddrüsenlappen rechts: Tiefe (mm)	15	51,06667	48,00000	31,00000	75,00000	10,73357
Schilddrüsenlappen rechts: Volumen (ml)	15	11,95437	10,47200	4,41600	21,84000	5,41389
Schilddrüsen-Volumen gesamt (ml)	15	20,51123	18,94900	6,75900	35,64000	8,30018
Zungengrund Länge (mm)	16	23,87500	24,00000	20,00000	30,00000	3,00832
Zungengrund Breite (mm)	16	35,31250	35,00000	30,00000	40,00000	2,44182
Zungengrund Höhe (mm)	16	30,18750	30,50000	24,00000	39,00000	4,51986
Zungengrund Volumen (ml)	16	25,44200	24,09600	18,70000	35,26400	5,32497
Ösophagus Anzahl Wandschichten	15	2,73333	3,00000	1,00000	3,00000	0,59362
Ösophagus Durchmesser (cm)	14	0,95464	0,96000	0,65500	1,17500	0,15997
Ösophagus Länge (mm)	15	39,80000	39,00000	9,00000	66,00000	16,31038

Mann-Whitney U-Test	Rangsumme	Rangsumme	U	N	N	2*eins.
	unter 25	25 und mehr		unter 25	25 und mehr	exakt p
Schilddrüsenlappen links: Höhe (mm)	71,0000	205,0000	35,00000	8	15	0,115216
Schilddrüsenlappen links: Breite (mm)	72,5000	203,5000	36,50000	8	15	0,131450
Schilddrüsenlappen links: Tiefe (mm)	99,5000	176,5000	56,50000	8	15	0,825177
Schilddrüsenlappen links: Volumen (ml)	72,0000	204,0000	36,00000	8	15	0,131450
Schilddrüsenlappen rechts: Höhe (mm)	83,0000	217,0000	38,00000	9	15	0,083776
Schilddrüsenlappen rechts: Breite (mm)	68,5000	231,5000	23,50000	9	15	0,006712
Schilddrüsenlappen rechts: Tiefe (mm)	84,5000	215,5000	39,50000	9	15	0,095507

Mann-Whitney U-Test	Rangsumme	Rangsumme	U	N	N	2*eins.
	unter 25	25 und mehr		unter 25	25 und mehr	exakt p
Schilddrüsenlappen rechts: Volumen (ml)	73,0000	227,0000	28,00000	9	15	0,017741
Schilddrüsen-Volumen gesamt (ml)	66,0000	210,0000	30,00000	8	15	0,055581
Zungengrund Länge (mm)	116,5000	208,5000	71,50000	9	16	0,977872
Zungengrund Breite (mm)	91,0000	234,0000	46,00000	9	16	0,151509
Zungengrund Höhe (mm)	114,0000	211,0000	69,00000	9	16	0,889705
Zungengrund Volumen (ml)	107,0000	218,0000	62,00000	9	16	0,597587
Ösophagus Anzahl Wandschichten	112,0000	188,0000	67,00000	9	15	1,000000
Ösophagus Durchmesser (cm)	85,0000	191,0000	40,00000	9	14	0,159446
Ösophagus Länge (mm)	142,0000	158,0000	38,00000	9	15	0,083776

Einflüsse auf die erhobenen Parameter der Schluckakte

Alter Kat=25+	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schluckakt 1 Dauer Larynxelevation (s)	19	0,958689	0,832500	0,199800	2,79720	0,605899
Schluckakt 1 Dauer (s)	19	1,027042	0,999000	0,199800	1,76490	0,380531
Schluckakt 1 Strecke (cm)	22	3,345455	3,700000	1,200000	5,00000	1,095327
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	19	4,458173	3,412503	1,334668	17,51752	3,469711
Schluckakt 2 Dauer Larynxelevation (s)	19	0,687032	0,599400	0,266400	1,66500	0,311040
Schluckakt 2 Dauer (s)	19	1,307463	1,198800	0,399600	2,83050	0,646268
Schluckakt 2 Strecke (cm)	22	3,359091	3,600000	1,200000	5,00000	0,985929
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	19	3,420821	2,887503	1,322751	10,51051	1,999916
Schluckakt 3 Dauer Larynxelevation (s)	19	0,688784	0,632700	0,099900	1,63170	0,410258
Schluckakt 3 Dauer (s)	19	1,295195	1,232100	0,532800	2,69730	0,512754
Schluckakt 3 Strecke (cm)	21	3,661905	3,700000	2,000000	5,00000	0,842897
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	19	3,297059	3,161056	1,297594	6,56907	1,215250

Alter Kat=unter 25	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schluckakt 1 Dauer Larynxelevation (s)	3	1,121100	0,832500	0,532800	1,998000	0,774061
Schluckakt 1 Dauer (s)	3	0,777000	0,632700	0,499500	1,198800	0,371311
Schluckakt 1 Strecke (cm)	3	3,700000	3,700000	3,700000	3,700000	0,000000
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	3	5,447260	5,847953	3,086420	7,407407	2,188184
Schluckakt 2 Dauer Larynxelevation (s)	3	0,510600	0,466200	0,333000	0,732600	0,203466
Schluckakt 2 Dauer (s)	3	1,520700	1,498500	1,132200	1,931400	0,400062
Schluckakt 2 Strecke (cm)	3	3,466667	3,700000	3,000000	3,700000	0,404145
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	3	2,395228	2,002002	1,915709	3,267974	0,757050
Schluckakt 3 Dauer Larynxelevation (s)	3	0,843600	0,899100	0,432900	1,198800	0,385955
Schluckakt 3 Dauer (s)	3	1,986900	1,764900	1,498500	2,697300	0,629479
Schluckakt 3 Strecke (cm)	3	3,766667	3,700000	3,700000	3,900000	0,115470
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	3	2,003821	2,096436	1,445890	2,469136	0,517872

Mann-Whitney U-Test	Rangsumme	Rangsumme	U	N	N	2*eins.
	25+	unter 25		25+	unter 25	exakt p
Schluckakt 1 Dauer Larynxelevation (s)	217,5000	35,50000	27,50000	19	3	0,928571
Schluckakt 1 Dauer (s)	232,0000	21,00000	15,00000	19	3	0,225974
Schluckakt 1 Strecke (cm)	283,0000	42,00000	30,00000	22	3	0,844348
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	206,0000	47,00000	16,00000	19	3	0,264935
Schluckakt 2 Dauer Larynxelevation (s)	228,0000	25,00000	19,00000	19	3	0,407792
Schluckakt 2 Dauer (s)	208,0000	45,00000	18,00000	19	3	0,355844
Schluckakt 2 Strecke (cm)	285,0000	40,00000	32,00000	22	3	0,968696
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	232,0000	21,00000	15,00000	19	3	0,225974
Schluckakt 3 Dauer Larynxelevation (s)	211,5000	41,50000	21,50000	19	3	0,523377
Schluckakt 3 Dauer (s)	198,5000	54,50000	8,50000	19	3	0,053247
Schluckakt 3 Strecke (cm)	263,0000	37,00000	31,00000	21	3	1,000000
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	238,0000	15,00000	9,00000	19	3	0,068831

Geschlecht=männlich	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schluckakt 1 Dauer Larynxelevation (s)	9	0,980500	0,832500	0,199800	2,79720	0,717132

Geschlecht=männlich	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schluckakt 1 Dauer (s)	9	0,876900	0,899100	0,199800	1,26540	0,323285
Schluckakt 1 Strecke (cm)	12	3,233333	3,600000	1,200000	5,00000	1,268738
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	9	5,763980	4,004004	2,765924	17,51752	4,653718
Schluckakt 2 Dauer Larynxelevation (s)	9	0,751100	0,632700	0,532800	1,66500	0,350090
Schluckakt 2 Dauer (s)	9	1,354200	1,198800	0,999000	1,93140	0,303834
Schluckakt 2 Strecke (cm)	12	3,233333	3,600000	1,200000	5,00000	1,184240
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	9	2,934390	2,875216	1,915709	5,00501	0,957476
Schluckakt 3 Dauer Larynxelevation (s)	9	0,736300	0,732600	0,266400	1,39860	0,367601
Schluckakt 3 Dauer (s)	9	1,332000	1,098900	0,932400	2,69730	0,571704
Schluckakt 3 Strecke (cm)	11	3,481818	3,700000	2,000000	5,00000	0,902018
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	9	3,173460	2,923977	1,297594	4,55000	1,196172

Geschlecht=weiblich	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schluckakt 1 Dauer Larynxelevation (s)	13	0,981069	0,799200	0,299700	2,09790	0,559799
Schluckakt 1 Dauer (s)	13	1,073285	1,065600	0,499500	1,76490	0,408554
Schluckakt 1 Strecke (cm)	13	3,530769	3,700000	2,000000	4,70000	0,778229
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	13	3,782403	3,378378	1,334668	7,40741	1,699799
Schluckakt 2 Dauer Larynxelevation (s)	13	0,601962	0,566100	0,266400	1,23210	0,259178
Schluckakt 2 Dauer (s)	13	1,324315	1,132200	0,399600	2,83050	0,775272
Schluckakt 2 Strecke (cm)	13	3,500000	3,700000	2,500000	4,50000	0,639010
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	13	3,520905	2,887503	1,322751	10,51051	2,357646
Schluckakt 3 Dauer Larynxelevation (s)	13	0,691615	0,632700	0,099900	1,63170	0,437603
Schluckakt 3 Dauer (s)	13	1,429338	1,398600	0,532800	2,69730	0,584486
Schluckakt 3 Strecke (cm)	13	3,838462	3,700000	2,000000	4,50000	0,669002
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	13	3,084188	3,142678	1,445890	6,56907	1,289818

Mann-Whitney U-Test	Rangsumme	Rangsumme	U	N	N	2*eins.
	männlich	weiblich		männlich	weiblich	exakt p
Schluckakt 1 Dauer Larynxelevation (s)	104,0000	149,0000	58,00000	9	13	1,000000
Schluckakt 1 Dauer (s)	91,0000	162,0000	46,00000	9	13	0,431036
Schluckakt 1 Strecke (cm)	146,0000	179,0000	68,00000	12	13	0,611412
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	123,0000	130,0000	39,00000	9	13	0,209304
Schluckakt 2 Dauer Larynxelevation (s)	126,5000	126,5000	35,50000	9	13	0,126416
Schluckakt 2 Dauer (s)	116,0000	137,0000	46,00000	9	13	0,431036
Schluckakt 2 Strecke (cm)	149,5000	175,5000	71,50000	12	13	0,728339
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	101,0000	152,0000	56,00000	9	13	0,896036
Schluckakt 3 Dauer Larynxelevation (s)	109,0000	144,0000	53,00000	9	13	0,743754
Schluckakt 3 Dauer (s)	89,5000	163,5000	44,50000	9	13	0,357485
Schluckakt 3 Strecke (cm)	119,0000	181,0000	53,00000	11	13	0,303120
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	104,0000	149,0000	58,00000	9	13	1,000000

BMI in Kategorien=unter 25	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schluckakt 1 Dauer Larynxelevation (s)	9	0,947200	0,832500	0,432900	1,998800	0,490571
Schluckakt 1 Dauer (s)	9	1,028600	1,065600	0,499500	1,764900	0,405948
Schluckakt 1 Strecke (cm)	9	3,822222	3,700000	3,000000	4,700000	0,547215
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	9	4,288882	3,472222	2,145002	7,40741	1,814739
Schluckakt 2 Dauer Larynxelevation (s)	9	0,540200	0,532800	0,333000	0,732600	0,116285
Schluckakt 2 Dauer (s)	9	1,246900	1,198800	0,399600	2,797200	0,667271
Schluckakt 2 Strecke (cm)	9	3,611111	3,700000	3,000000	4,200000	0,419656
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	9	3,799387	3,267974	1,322751	10,51051	2,669416
Schluckakt 3 Dauer Larynxelevation (s)	9	0,725200	0,732600	0,432900	1,198800	0,257821
Schluckakt 3 Dauer (s)	9	1,524400	1,398600	0,832500	2,697300	0,567757
Schluckakt 3 Strecke (cm)	9	3,844444	3,700000	3,000000	4,500000	0,441902
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	9	2,821879	2,469136	1,445890	4,444444	1,045436

BMI in Kategorien=25 und mehr	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schluckakt 1 Dauer Larynxelevation (s)	13	1,004123	0,832500	0,199800	2,79720	0,703101
Schluckakt 1 Dauer (s)	13	0,968262	0,899100	0,199800	1,59840	0,377105
Schluckakt 1 Strecke (cm)	16	3,143750	3,600000	1,200000	5,00000	1,168457
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	13	4,803625	3,412503	1,334668	17,51752	4,093244
Schluckakt 2 Dauer Larynxelevation (s)	13	0,747969	0,666000	0,266400	1,66500	0,361377
Schluckakt 2 Dauer (s)	13	1,398600	1,398600	0,666000	2,83050	0,596619
Schluckakt 2 Strecke (cm)	16	3,237500	3,250000	1,200000	5,00000	1,112280
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	13	2,922061	2,645503	1,589825	5,00501	1,109271
Schluckakt 3 Dauer Larynxelevation (s)	13	0,699300	0,599400	0,099900	1,63170	0,487706
Schluckakt 3 Dauer (s)	13	1,296138	1,132200	0,532800	2,69730	0,570727
Schluckakt 3 Strecke (cm)	15	3,573333	3,700000	2,000000	5,00000	0,936915
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	13	3,327590	3,161056	1,297594	6,56907	1,333823

Mann-Whitney U-Test	Rangsumme	Rangsumme	U	N	N	2* eins.
	unter 25	25 und mehr		unter 25	25 und mehr	exakt p
Schluckakt 1 Dauer Larynxelevation (s)	101,5000	151,5000	56,50000	9	13	0,896036
Schluckakt 1 Dauer (s)	105,5000	147,5000	56,50000	9	13	0,896036
Schluckakt 1 Strecke (cm)	134,5000	190,5000	54,50000	9	16	0,328645
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	106,0000	147,0000	56,00000	9	13	0,896036
Schluckakt 2 Dauer Larynxelevation (s)	78,0000	175,0000	33,00000	9	13	0,095557
Schluckakt 2 Dauer (s)	92,0000	161,0000	47,00000	9	13	0,470729
Schluckakt 2 Strecke (cm)	132,0000	193,0000	57,00000	9	16	0,419239
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	114,0000	139,0000	48,00000	9	13	0,512287
Schluckakt 3 Dauer Larynxelevation (s)	113,0000	140,0000	49,00000	9	13	0,555587
Schluckakt 3 Dauer (s)	119,5000	133,5000	42,50000	9	13	0,292051
Schluckakt 3 Strecke (cm)	121,5000	178,5000	58,50000	9	15	0,598522
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	90,5000	162,5000	45,50000	9	13	0,393265

Ösophagus Durchmesser in 2 Kat=0,9 cm und mehr	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schluckakt 1 Dauer Larynxelevation (s)	13	1,068162	0,832500	0,199800	2,79720	0,781009
Schluckakt 1 Dauer (s)	13	1,075846	0,999000	0,632700	1,76490	0,368409
Schluckakt 1 Strecke (cm)	13	3,823077	3,700000	2,000000	5,00000	0,850641
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	13	4,003749	3,472222	1,334668	7,15001	1,721480
Schluckakt 2 Dauer Larynxelevation (s)	13	0,696738	0,599400	0,333000	1,66500	0,361082
Schluckakt 2 Dauer (s)	13	1,232100	1,198800	0,399600	1,93140	0,432259
Schluckakt 2 Strecke (cm)	13	3,769231	3,700000	2,500000	5,00000	0,696879
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	13	3,646324	2,875216	1,915709	10,51051	2,278678
Schluckakt 3 Dauer Larynxelevation (s)	13	0,532800	0,466200	0,099900	0,99900	0,294412
Schluckakt 3 Dauer (s)	13	1,244908	1,232100	0,832500	1,76490	0,262746
Schluckakt 3 Strecke (cm)	13	3,915385	3,700000	2,500000	5,00000	0,678044
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	13	3,265716	3,217503	2,096436	4,55000	0,861789

Ösophagus Durchmesser in 2 Kat=unter 0,9 cm	N	MW	Median	Minimum	Maximum	SD
Schluckakt 1 Dauer Larynxelevation (s)	9	0,854700	0,865800	0,532800	1,13220	0,197708
Schluckakt 1 Dauer (s)	9	0,873200	0,799200	0,199800	1,39860	0,386831
Schluckakt 1 Strecke (cm)	10	3,200000	3,600000	1,200000	4,00000	0,875595
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	9	5,444258	3,412503	2,145002	17,51752	4,772494
Schluckakt 2 Dauer Larynxelevation (s)	9	0,614200	0,632700	0,266400	0,96570	0,194962
Schluckakt 2 Dauer (s)	9	1,487400	1,198800	0,666000	2,83050	0,819072
Schluckakt 2 Strecke (cm)	10	3,180000	3,250000	1,200000	4,50000	0,890443
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	9	2,753230	2,887503	1,322751	4,50450	1,079067
Schluckakt 3 Dauer Larynxelevation (s)	9	0,965700	0,799200	0,432900	1,63170	0,411225
Schluckakt 3 Dauer (s)	9	1,598400	1,831500	0,532800	2,69730	0,811762
Schluckakt 3 Strecke (cm)	9	3,644444	3,700000	2,000000	4,50000	0,689404
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	9	2,911253	2,457002	1,297594	6,56907	1,653489

Mann-Whitney U-Test	Rangsumme	Rangsumme	U	N	N	2*eins.
	0,9 cm und mehr	unter 0,9 cm		0,9 cm und mehr	unter 0,9 cm	exakt p
Schluckakt 1 Dauer Larynxelevation (s)	146,0000	107,0000	55,00000	13	9	0,844582
Schluckakt 1 Dauer (s)	162,5000	90,5000	45,50000	13	9	0,393265
Schluckakt 1 Strecke (cm)	182,0000	94,0000	39,00000	13	10	0,115063
Schluckakt 1 Geschwindigkeit (cm/s)	142,0000	111,0000	51,00000	13	9	0,646970
Schluckakt 2 Dauer Larynxelevation (s)	147,0000	106,0000	56,00000	13	9	0,896036
Schluckakt 2 Dauer (s)	145,5000	107,5000	54,50000	13	9	0,793760
Schluckakt 2 Strecke (cm)	181,5000	94,5000	39,50000	13	10	0,115063
Schluckakt 2 Geschwindigkeit (cm/s)	162,5000	90,5000	45,50000	13	9	0,393265
Schluckakt 3 Dauer Larynxelevation (s)	114,5000	138,5000	23,50000	13	9	0,016988
Schluckakt 3 Dauer (s)	135,0000	118,0000	44,00000	13	9	0,357485
Schluckakt 3 Strecke (cm)	162,5000	90,5000	45,50000	13	9	0,393265
Schluckakt 3 Geschwindigkeit (cm/s)	170,0000	83,0000	38,00000	13	9	0,185750

Multivariate Auswertung

	Schluckgeschwindigkeit					
	Leerschluck		Spritzschluck		Götterspeise	
Variable	Odds Ratio (95 %-KI)	p-Wert	Odds Ratio (95 %-KI)	p-Wert	Odds Ratio (95 %-KI)	p-Wert
Alter						
unter 25 Jahre	4,1 (0,28-59,1)	0,302	0,07 (0,01-1,7)	0,104	-	
25 und älter	1					
Geschlecht						
männlich	2,1 (0,32-14,1)	0,432	0,81 (0,10-6,8)	0,846	0,87 (0,12-6,2)	0,893
weiblich	1					
BMI						
unter 25 kg/m ²	1,7 (0,25-11,3)	0,592	4,7 (0,38-56,9)	0,228	0,66 (0,09-4,8)	0,680
25 und höher	1					
Ösophagus						
unter 9 mm	0,90 (0,14-5,9)	0,912	0,24 (0,03-2,0)	0,190	0,37 (0,05-2,6)	0,313
ab 9 mm	1					